



Rui Pedro da Silva Henriques

Licenciado em Ciências da Engenharia

Eletrotécnica e de Computadores

Sistema integrado de gestão e otimização de iluminação pública

Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador Doutor Tiago Oliveira Machado de Figueiredo Cardoso – FCT/UNL

Juri

Presidente Doutora Anabela Monteiro Gonçalves Pronto – FCT/UNL

Arguente Mestre Pedro Miguel Negrão Maló – FCT/UNL

Vogal Doutor Tiago Oliveira Machado de Figueiredo Cardoso – FCT/UNL



FACULDADE DE
CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
UNIVERSIDADE NOVA DE LISBOA

Setembro, 2012

Sistema integrado de gestão e otimização de iluminação pública

Copyright © Rui Pedro da Silva Henriques, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa .

A Faculdade de Ciências e Tecnologia e a Universidade Nova de Lisboa têm o direito, perpétuo e sem limites geográficos, de arquivar e publicar esta dissertação através de exemplares impressos reproduzidos em papel ou de forma digital, ou por qualquer outro meio conhecido ou que venha a ser inventado, e de a divulgar através de repositórios científicos e de admitir a sua cópia e distribuição com objetivos educacionais ou de investigação, não comerciais, desde que seja dado crédito ao autor e editor.

Agradecimentos

Gostaria aqui de deixar o meu agradecimento a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para esta dissertação. Em particular gostaria de agradecer aos seguintes:

À FCT-UNL e em particular ao DEE pela formação, acolhimento e desafios.

Ao Doutor Tiago Cardoso pela orientação e por ter sempre em mente o passo à frente.

À Elsa, ao Marcos, ao Ricardo, pelas oportunidades, pelo apoio, pela confiança.

A todos os colaboradores da IrRADIARE, porque todos os dias se ensina e se aprende.

À Médiotejo21 e aos seus colaboradores pelas valiosas opiniões.

À minha família, porque são um porto de abrigo incondicional.

À Inês, pela cumplicidade e sorriso de ambos.

Aos meus amigos, pela amizade e pelas discussões terminadas à viola.

Resumo:

O uso eficiente de energia é uma crescente preocupação devido à diminuição de recursos e a consequências climáticas cada vez mais marcadas, representando ainda um papel fundamental ao nível económico e de competitividade. É neste contexto que surgem diversos programas e estratégias nacionais e europeias, como o ECO.AP (Plano de Eficiência Energética na Administração Pública) que visa obter nos serviços públicos e organismos da Administração Pública, até 2020, um nível de eficiência energética na ordem dos 20% face aos atuais valores. Nestes objetivos enquadra-se também a utilização racional de energia e a eficiência energético-ambiental em equipamentos de iluminação pública (IP).

Adicionalmente a estes objetivos estratégicos, a IP representa um peso importante nas despesas correntes dos municípios. É assim importante uma solução que permita manter níveis de segurança e conforto necessários às populações e que proporcione uma redução substancial do peso da IP nas despesas municipais.

Apesar dos avanços tecnológicos que permitiram uma melhoria da eficiência subsistem ainda questões fundamentais na IP que continuam sem ser respondidas devido à falta de informação. Nestas questões englobam-se tipologias tão variadas como a localização geográfica dos diversos componentes da rede de IP, adequação, consumos, valores faturados, intervenções técnicas, entre outras que se poderão colocar no sentido de criar conhecimento sobre a rede de IP.

Face a este cenário e em resposta às necessidades sentidas pelos intervenientes, esta dissertação endereça estes problemas propondo uma solução que permite integrar os dados da rede de IP. Propõe-se assim proporcionar uma ferramenta de otimização capaz de evidenciar soluções de melhoria da eficiência energética aos responsáveis bem como disponibilizar informação geo-referenciada relevante sobre qualquer componente da rede de IP.

Com esta solução propõe-se não apenas uma integração e centralização de toda a informação de IP mas também dos diversos atores do processo, como a integração com sistemas de faturação.

Palavras-chave: iluminação pública, eficiência energética, sistema de informação geográfica, sistema de gestão municipal

Abstract:

The efficient use of energy has been a growing concern due to the decrease of resources and increasingly noticeable climatic consequences, while also representing a key role in economic and competitiveness. It is in this context that arise various national and European programs and strategies, such as the ECO.AP (Plan for Energy Efficiency in Public Administration) that seeks in public services and public administration, by 2020, a level of energy efficiency in around 20% in the face of current values. These goals include rational use of energy and energy-efficiency in public lighting equipment.

In addition to these strategic objectives, public lighting represents an important burden on current expenditure of the municipalities. It is important to reach a solution that maintains the level of safety and comfort needed by populations, while providing a substantial reduction in weight that the costs of public lighting represent.

Despite technological advances that have led to the improvement of efficiency there are still fundamental questions that remain unanswered in public lighting due to lack of information. These include the geographical location of the various components of public lighting, it's fitness, consumption, amounts billed, technical interventions, among others that may arise in order to create knowledge about the existing public lighting network.

Regarding this background and aiming at suitability tackle the needs felt by the actors, this dissertation addresses these problems by proposing a solution that integrates data from the public lighting network in order to provide an optimization tool able to highlight solutions to improve energy efficiency and provide relevant geo-referenced information on any public lighting network component.

With this solution not only integration and centralization of all information of the public lighting network are proposed but also with the various actors in the process as the integration with billing systems.

Keywords: public lighting, energy efficiency, geographic information system, municipal management system

Índice de matérias

Capítulo 1 Enquadramento e motivação.....	19
1.1 A iluminação pública.....	19
1.2 Consumo de energia.....	21
1.3 Motivação para a implementação de um sistema de controlo e monitorização.....	27
Capítulo 2 Enquadramento tecnológico.....	28
2.1 Definições.....	28
2.1.1 Temperatura da cor.....	28
2.1.2 Índice de restituição de cor (IRC).....	28
2.1.3 Eficiência Luminosa	29
2.1.4 Iluminância.....	29
2.1.5 Luminância.....	29
2.2 Tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação pública.....	29
2.2.1 Lâmpadas.....	29
2.2.2 Balastro.....	33
2.2.3 Regulador de fluxo (RFL).....	34
2.2.4 Relógio.....	34
2.2.5 Relógio astronómico.....	34
2.2.6 Sensor crepuscular.....	34
Capítulo 3 State of the art.....	35
3.1 Projetos analisados.....	35
3.1.1 Akola.....	36
3.1.2 Ann Arbor.....	36
3.1.3 Böblingen.....	37
3.1.4 Focșani.....	38
3.1.5 Geldern.....	38
3.1.6 Gorna Oryahovitsa.....	39
3.1.7 Hagen.....	39
3.1.8 Hostětín.....	40
3.1.9 ILUMape.....	40
3.1.10 ILUPub.....	41
3.1.11 Kahl.....	41
3.1.12 Kempten.....	42
3.1.13 Kladno.....	42
3.1.14 Lom.....	43
3.1.15 Los Angeles.....	43
3.1.16 Ludwigshafen am Rhein.....	44
3.1.17 Neusiedl am See.....	44
3.1.18 Oslo.....	45
3.1.19 Prešov.....	45
3.1.20 Senftenberg.....	46
3.1.21 Vattenfall Service Nord AB.....	46
3.1.22 Vechta.....	47
3.1.23 Vila Nova de Gaia (2002).....	47
3.1.24 Vila Nova de Gaia (2008).....	48
3.1.25 Villingen-Schwenningen.....	48
3.2 Tecnologias e procedimentos.....	49

3.2.1 Intelligent Street Lighting.....	49
3.2.2 Substituição da tecnologia de lâmpadas.....	52
3.2.3 Introdução de equipamento de regulação.....	53
3.2.4 Levantamento e caracterização.....	53
3.3 Análise de projetos de Intelligent Street Lighting.....	54
Capítulo 4 Proposta.....	56
4.1 Identificação da solução.....	56
4.1.1 Estrutura de Dados e DER.....	57
4.1.1.1 Posto de transformação.....	58
4.1.1.2 Circuito de IP.....	59
4.1.1.3 Entidade.....	61
4.2 Implementação do sistema.....	65
4.2.1 Arquitetura.....	65
4.2.1.1 Camada de apresentação.....	66
4.2.1.2 Camada de interface.....	66
4.2.1.3 Camada de serviço.....	67
4.2.1.4 Camada de dados.....	67
4.2.2 Opções tecnológicas	67
4.2.3 Plataformas de suporte.....	68
4.2.4 Visão geral.....	70
Capítulo 5 Validação.....	72
5.1 Desenvolvimento do protótipo.....	72
5.2 Fase de utilização restrita.....	73
5.2.1 Metodologia de validação.....	74
5.3 Integração num sistema de gestão energética municipal.....	75
Capítulo 6 Conclusões e desenvolvimentos futuros.....	76
Capítulo 7 Bibliografia.....	81

Índice de figuras

Figura 1.1: Distribuição dos municípios de acordo com a energia consumida per capita em iluminação de vias públicas [Adaptado de: INE, 2012].....	20
Figura 1.2: Histórico do consumo total de energia elétrica vs iluminação de vias públicas [Fonte: PORDATA, 2012].....	21
Figura 1.3: Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas [Fonte: PORDATA, 2012].....	22
Figura 1.4: Distribuição dos municípios relativamente à percentagem de energia consumida em iluminação de vias públicas [Adaptado de: INE, 2012].....	23
Figura 1.5: Consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas per capita. [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012].....	24
Figura 1.6: Despesa relativa ao consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas per capita. [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012].....	25
Figura 1.7: Percentagem da despesa corrente total utilizada em iluminação de vias públicas. [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012].....	26
Figura 3.1: Localização dos projetos de iluminação pública analisados.....	35
Figura 3.2: Implementação de sistemas de intelligent street lighting.....	50
Figura 3.3: Substituição de tecnologia de lâmpadas.....	52
Figura 3.4: Introdução de equipamento de regulação.....	53
Figura 3.5: Levantamento e caracterização.....	54
Figura 4.1: Pormenor do DER relativo à hierarquia do sistema de IP.....	57
Figura 4.2: Informação comum aos postos de transformação e circuitos através da entidade.....	58
Figura 4.3: Detalhe da interface de visualização de um posto de transformação.....	59
Figura 4.4: Detalhe da interface de visualização de um circuito.....	60
Figura 4.5: Caracterização de um ponto de luz.....	61
Figura 4.6: Detalhe do DER evidenciando as ligações da tabela de entidades.....	62
Figura 4.7: Exemplo de QR Code de um VCard.....	63
Figura 4.8: Arquitetura do sistema.....	66
Figura 4.9: Esquema ilustrativo global sistema.....	71
Figura 5.1: Área de influência da agência de energia e ambiente Médiotejo21.....	74

Índice de tabelas

Tabela 2.1: Tabela de caracterização comparativa entre as principais tecnologias de lâmpadas. [Adaptado de MIP, 2010].....	33
Tabela 3.1: Dados do projeto de Akola.....	36
Tabela 3.2: Dados do projeto de Ann Arbor.....	37
Tabela 3.3: Dados do projeto de Böblingen.....	37
Tabela 3.4: Dados do projeto de Focșani.....	38
Tabela 3.5: Dados do projeto de Geldern.....	38
Tabela 3.6: Dados do projeto de Gorna Oryahovitsa.....	39
Tabela 3.7: Dados do projeto de Hagen.....	39
Tabela 3.8: Dados do projeto de Hostětín.....	40
Tabela 3.9: Dados do projeto ILUMape.....	40
Tabela 3.10: Dados do projeto ILUPub.....	41
Tabela 3.11: Dados do projeto de Kahl.....	41
Tabela 3.12: Dados do projeto de Kempten.....	42
Tabela 3.13: Dados do projeto de Kladno.....	42
Tabela 3.14: Dados do projeto de Lom.....	43
Tabela 3.15: Dados do projeto de L.A.....	43
Tabela 3.16: Dados do projeto Ludwigshafen am Rhein.....	44
Tabela 3.17: Dados do projeto de Neusiedl am See.....	44
Tabela 3.18: Dados do projeto de Oslo.....	45
Tabela 3.19: Dados do projeto de Prešov.....	45
Tabela 3.20: Dados do projeto de Senftenberg.....	46
Tabela 3.21: Dados do projeto Vattenfall Service Nord AB.....	46
Tabela 3.22: Dados do projeto de Vechta.....	47
Tabela 3.23: Dados do projeto de Gaia (2002).....	47
Tabela 3.24: Dados do projeto de Gaia (2008).....	48
Tabela 3.25: Dados do projeto de Villingen-Schwenningen.....	48
Tabela 3.26: Detalhe das tecnologias e procedimentos identificados.....	51

Abreviaturas e Siglas

AEL - Asia Electronics Limited

API - Application Programming Interface

AREANATEjo - Agência Regional de Energia e Ambiente do Norte Alentejano e Tejo

BD - Base de Dados

CFL - Compact Fluorescent Lamp

CIMAA - Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo

CMS - Content Management System

CPE - Código de Ponto de Entrega

DER - Diagrama de Entidades e Relacionamentos

DL - Decreto-Lei

ECO.AP - Plano de Eficiência Energética na Administração Pública

EDI - Electronic Data Interchange

EDP - Energias de Portugal

EN – Norma Europeia

ENERGAIA - Agência de Energia do Sul da Área Metropolitana do Porto

GEE - Gases com Efeito de Estufa

GPS - Global Positioning System

IDA - International Dark Sky Association

INE - Instituto Nacional de Estatística

IP - Iluminação Pública

IRC - Índice de Restituição de cor

LED - Light Emitting Diode

LTS - Long Term Support

Médiotejo21 - Agência Regional de Energia e Ambiente do Médio Tejo e Pinhal Interior Sul

MVC - Model View Controller

PHP - PHP: Hypertext Preprocessor

PORDATA - Base de Dados Portugal Contemporâneo

PT - Posto de Transformação

QRCode - Quick Response Code

RFL - Regulador de Fluxo

SGBD - Sistema de Gestão de Bases de Dados

SIG - Sistema de Informação Geográfica

SSL - Solid State Lighting

UMN - University of Minnesota

VSAP - Vapor de Sódio de Alta Pressão

VSBP - Vapor de Sódio de Baixa Pressão

WFS - Web Feature Service

WMS - Web Map Service

XML - Extensible Markup Language

Capítulo 1 Enquadramento e motivação

Pretende-se aqui apresentar a motivação para a realização da presente dissertação, proporcionando os enquadramentos tecnológico e económico necessários à sua sustentação.

1.1 A iluminação pública

A iluminação pública é um serviço essencial no quotidiano das populações. Quer seja em espaço urbano ou rural ela desempenha papéis fundamentais em áreas como a segurança rodoviária, a segurança pessoal dos cidadãos ou mesmo o embelezamento de espaços.

Nos espaços classificados como urbanos, a melhor iluminação de vias públicas está associada com zonas de maior desenvolvimento e qualidade de vida, incluindo melhores espaços comerciais ou áreas de lazer. Embora em algumas situações “mais” e “melhor” possam ser confundidos, este não é efetivamente o caso na questão da iluminação pública e encontram-se frequentemente situações em que a tentativa de proporcionar aos cidadãos uma melhor iluminação pública se traduz apenas em mais iluminação pública, sem um efetivo aumento da qualidade de vida ou de acréscimo de benefícios para a cultura, comércio ou lazer. Estes casos, muitas vezes pré-eleitorais, traduzem-se simplesmente em aumentos significativos de encargos com energia e manutenção para os municípios. Como agravante a esta situação estará ainda a legislação normativa existente que apenas tem valores indicativos relativamente aos mínimos aconselhados, deixando algumas lacunas relativamente ao planeamento adequado.

Em espaços caracterizados como rurais a iluminação pública está principalmente associada à iluminação de rodovias, muitas vezes afastadas das populações, tendo como principal objetivo a segurança rodoviária. É frequentemente nestes locais que as questões relacionadas com a adequabilidade da iluminação ao espaço em que se insere são mais prementes, visto que podem afetar de forma negativa e irreversível habitats existentes. Existe uma preocupação cada vez maior na limitação e diminuição da crescente poluição luminosa. Associações como a *International Dark-Sky Association* chamam a atenção para os efeitos adversos desta poluição, incluindo o desperdício de recursos energéticos e financeiros com a iluminação mal dirigida [IDA].

Distribuição dos municípios de acordo com a energia consumida per capita em iluminação de vias públicas

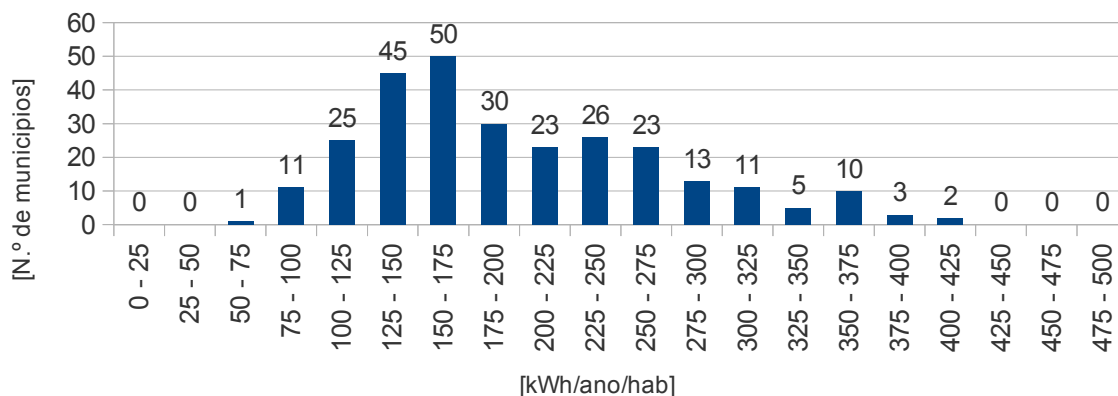


Figura 1.1: Distribuição dos municípios de acordo com a energia consumida per capita em iluminação de vias públicas [Adaptado de: INE, 2012]

Neste sentido, um ponto que interessa sublinhar é a qualidade da iluminação. Assim, o planeamento da iluminação pública deve identificar e ter em conta os espaços a iluminar bem como aqueles que não são para iluminar. Desta forma obter-se-iam dois resultados desejáveis: a diminuição da poluição luminosa resultante de um direcionamento inadequado e a diminuição do consumo de energia (e encargos associados).

Na Figura 1.1 ilustra-se a grande heterogeneidade dos municípios portugueses relativamente ao consumo *per capita* em iluminação de vias públicas. Embora haja naturalmente outros fatores a ter em conta, o gráfico mostrado revela claramente que a implementação de sistemas de iluminação pública é uma matéria analisada de forma muito distinta nos vários municípios. Embora se possam analisar vários indicadores, como a área, extensão e tipo das rodovias, população, percentagem de área urbana, etc., é ainda difícil identificar claramente onde estão a ser feitos os consumos e o nível de eficiência de cada município devido à falta de informação e caracterização dos sistemas de iluminação pública existentes.

1.2 Consumo de energia

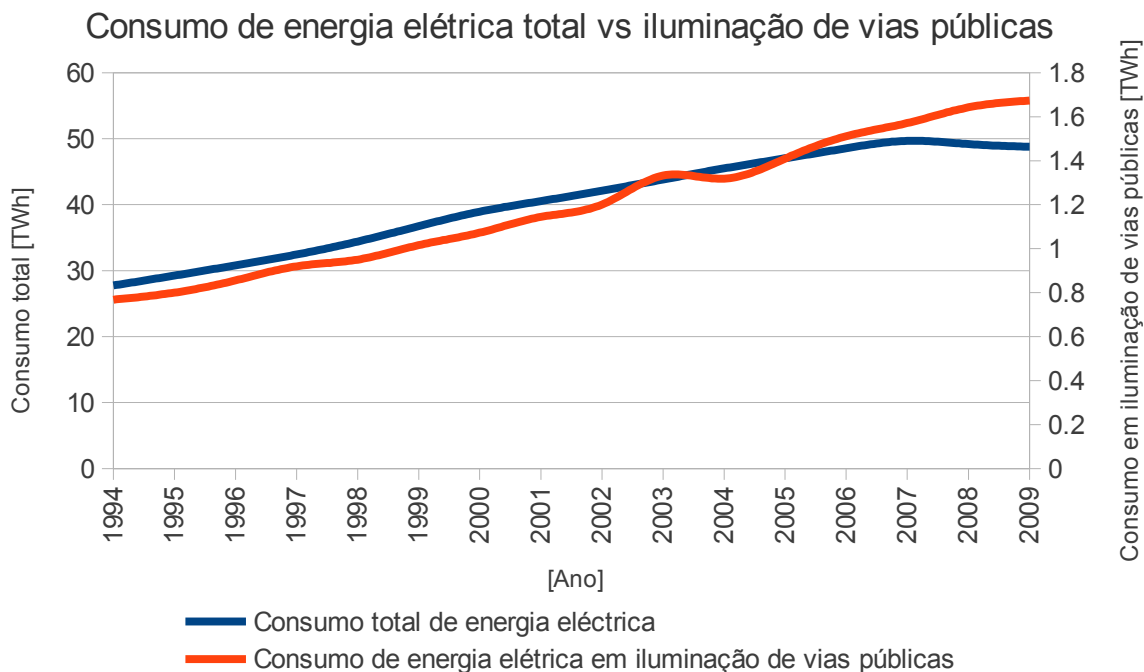
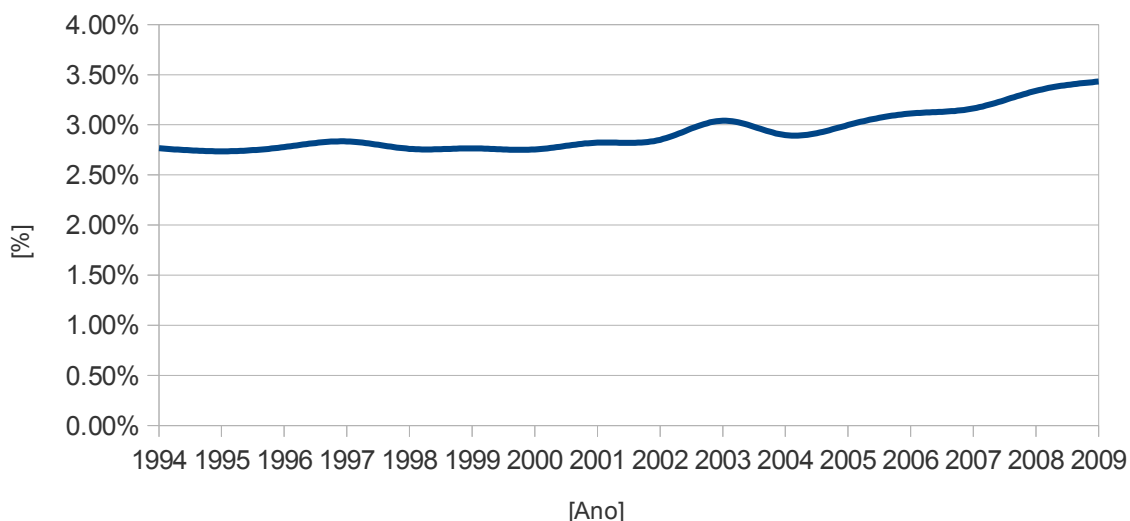


Figura 1.2: Histórico do consumo total de energia eléctrica vs iluminação de vias públicas [Fonte: PORDATA, 2012]

O consumo de energia eléctrica está estreitamente relacionado com o aumento de qualidade de vida das populações. Neste aumento de consumo estão espelhados o maior poder de compra e a maior disponibilidade de bens de consumo, como eletrodomésticos ou equipamentos audiovisuais. O acompanhamento desta tendência pelo consumo de energia em iluminação de vias públicas vê-se como natural e resultante da maior preocupação com a segurança das populações, do aumento das áreas comerciais e de lazer e da melhoria das vias rodoviárias. Na Figura 1.2 apresenta-se um gráfico com o andamento comparativo destes dois consumos.

Seria então de esperar que o ponto de inflexão observado na curva de consumo total registado cerca do ano de 2007 – motivado certamente pela chegada de uma crise financeira global – fosse acompanhado de perto pela curva de consumo de energia em iluminação de vias públicas. Tal não acontece e embora se possam identificar algumas oscilações, apenas em 2009 – 2 anos depois – é possível observar o início de um abrandamento no aumento de consumo, mas não se vislumbra ainda a sua diminuição efetiva.

Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas



— Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas

Figura 1.3: Percentagem do consumo total de energia elétrica utilizado em iluminação de vias públicas [Fonte: PORDATA, 2012]

A estas constatações podem aliar-se diversas causas. No caso da diminuição do consumo total de energia elétrica devem identificar-se alguns fatores essenciais: o surgimento de uma crise financeira e consequente contração económica que leva a um esforço de redução de gastos, aliando-se também uma crescente consciencialização para a disponibilidade de equipamentos com melhores níveis de eficiência, permitindo manter os níveis de conforto mas obtendo uma redução do consumo com consequências positivas ambiental e financeiramente. O aumento do preço da energia será também um fator essencial na medida em que para manter os custos associados ao consumo de energia passou a ser necessária uma diminuição do seu consumo.

Enquanto todos estes ajustamentos têm sido possíveis nos vários sectores, o mesmo não se tem verificado na iluminação pública, como é visível no gráfico da Figura 1.3 onde se denota o crescente peso da iluminação de vias publicas no total de energia consumido no país.

Na Figura 1.4 apresenta-se o posicionamento dos municípios relativamente à curva apresentada anteriormente (na Figura 1.3). Verifica-se mais uma vez que não existe um valor coerente e em destaque evidente para o território nacional.

Distribuição dos municípios relativamente à percentagem de energia consumida em iluminação de vias públicas

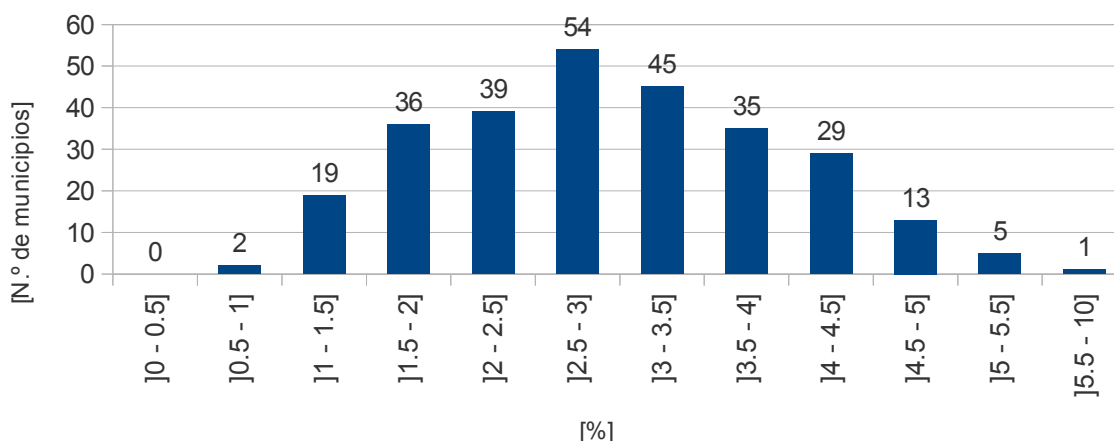


Figura 1.4: Distribuição dos municípios relativamente à percentagem de energia consumida em iluminação de vias públicas [Adaptado de: INE, 2012]

Dos contactos estabelecidos com alguns municípios foi possível identificar a necessidade de caracterização dos sistemas consumidores de energia. Nomeadamente ao nível da energia elétrica, embora seja possível identificar os custos através da análise de faturas, raramente é possível associar esses custos a equipamentos ou perfis de consumos. Esta lacuna é ainda mais evidente ao nível da iluminação pública, uma vez que se trata de uma sistema distribuído sobre uma vasta extensão geográfica e sobre o qual não existe muitas vezes um responsável direto. A forma como é feita a gestão da iluminação pública não será isenta de responsabilidades neste processo visto que, sendo a iluminação pública uma responsabilidade dos municípios, a sua manutenção é feita necessariamente pela EDP, a quem a concessão do serviço é feita por 20 anos de acordo com a legislação, sem que haja um procedimento de gestão e comunicação entre ambas as entidades claramente definido [DL 344-B/82].

Nas figuras seguintes apresentam-se três mapas que pretendem ilustrar geograficamente os dados apresentados anteriormente, identificando para cada município os valores de energia e despesa *per capita* utilizados na iluminação de vias públicas. Apresenta-se ainda o mapa representativo da distribuição da percentagem da despesa corrente total utilizada em iluminação de vias públicas. Destaca-se a existência valores mais elevados no norte do país, não tendo sido possível identificar uma causa para esse facto.

Consumo de energia eléctrica em iluminação de vias públicas per capita

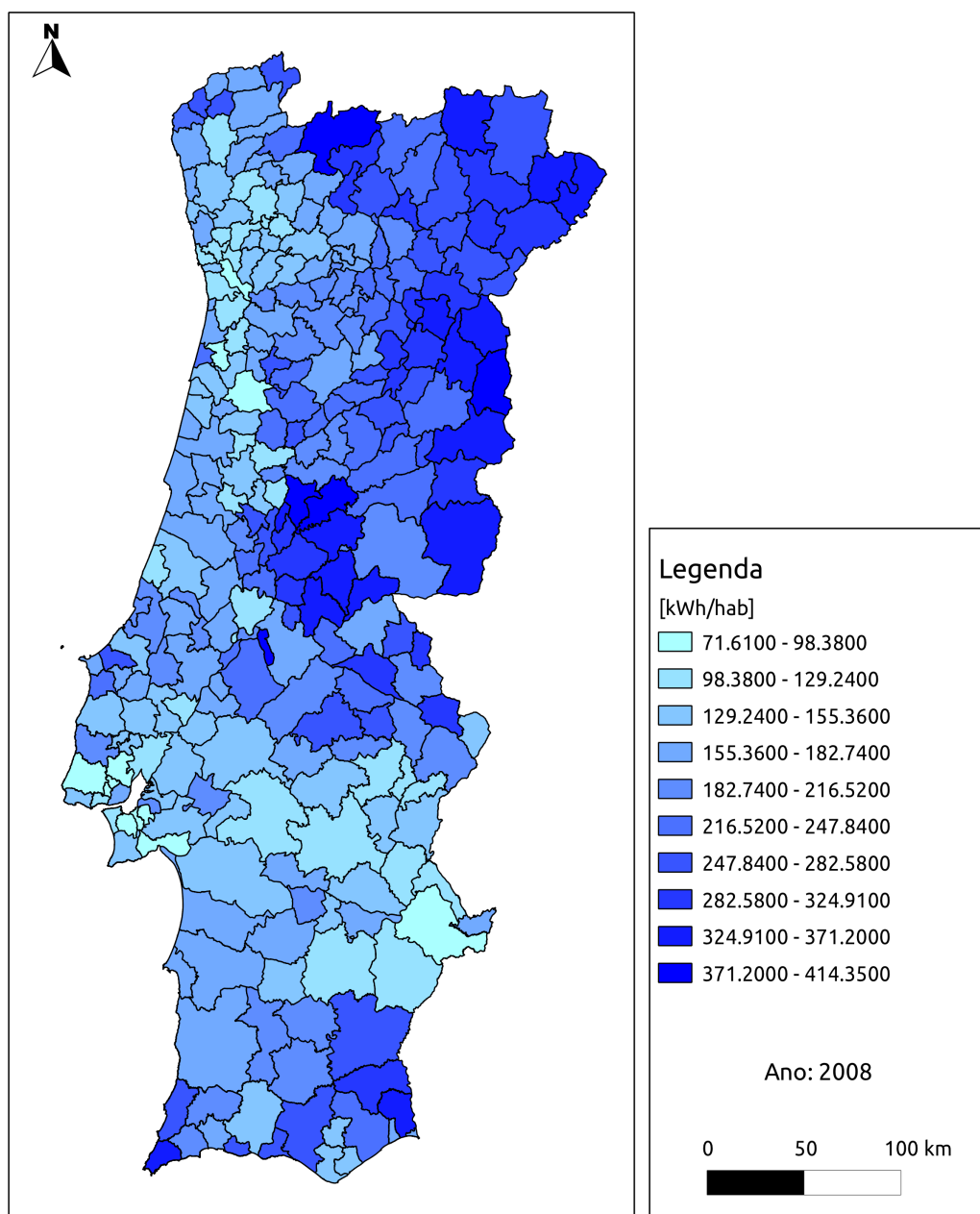


Figura 1.5: Consumo de energia eléctrica em iluminação de vias públicas per capita. [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012]

Despesa relativa ao consumo de energia eléctrica em
iluminação de vias públicas per capita

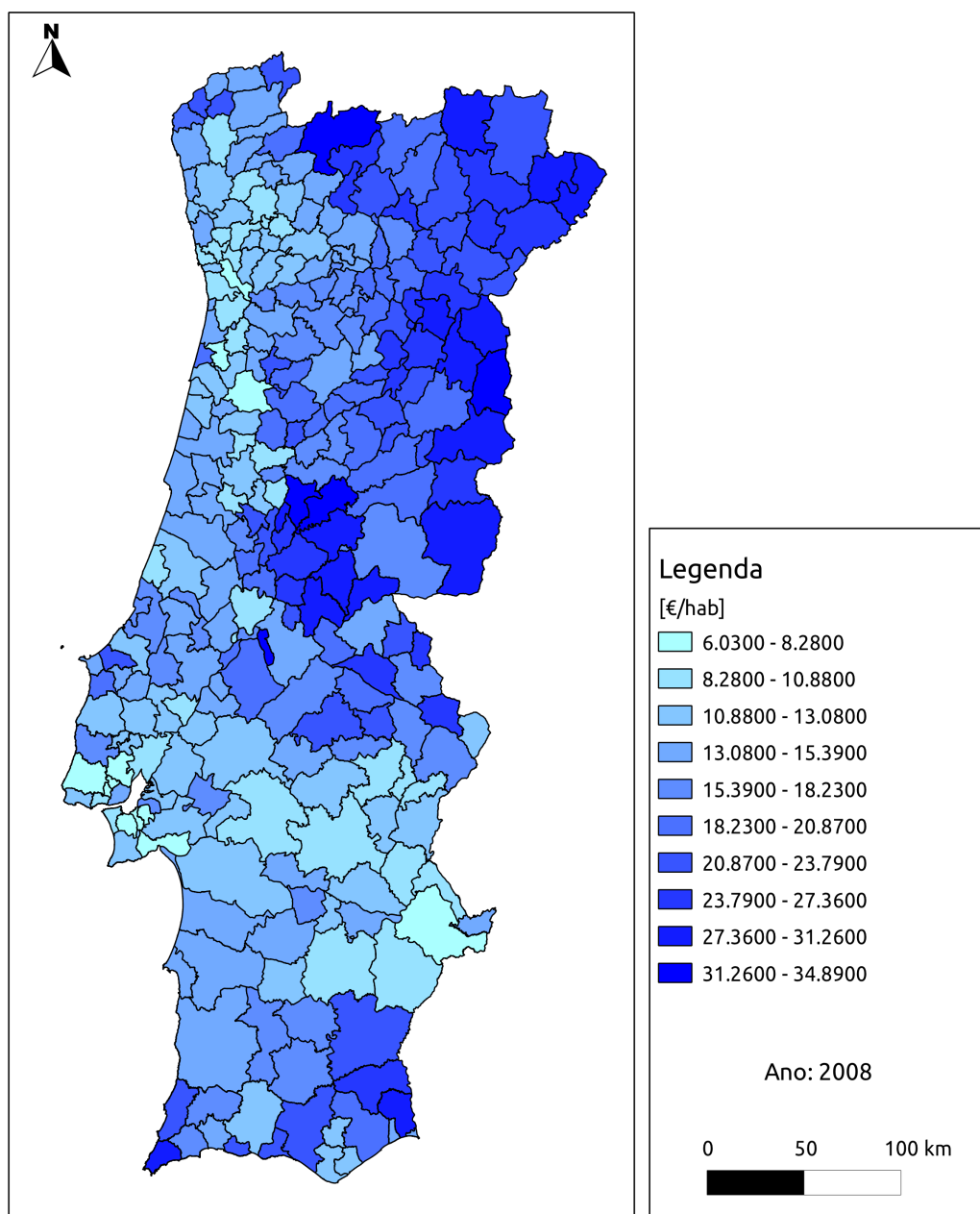


Figura 1.6: Despesa relativa ao consumo de energia elétrica em iluminação de vias públicas per capita.
[Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012]

Percentagem da despesa corrente total utilizada em iluminação de vias públicas

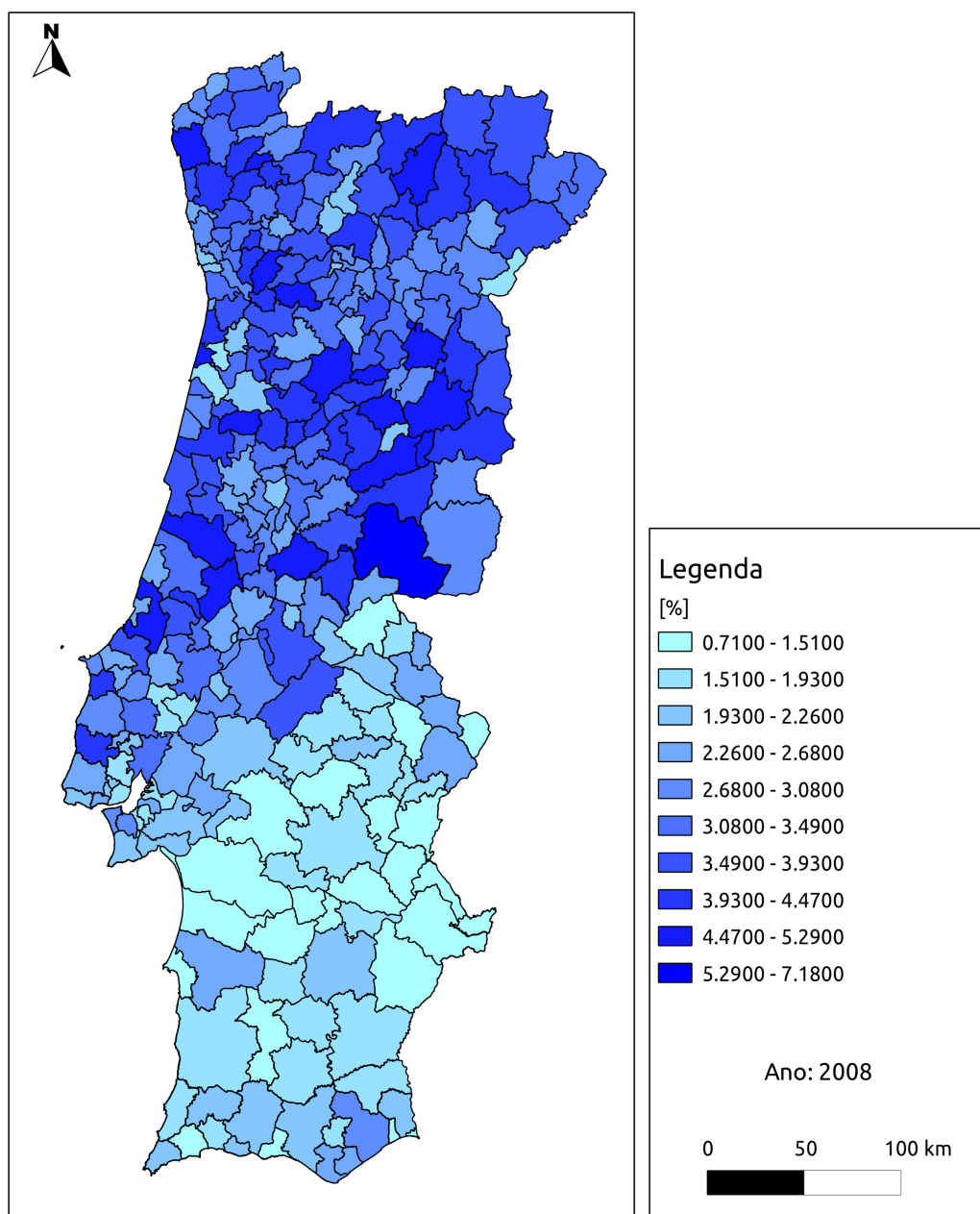


Figura 1.7: Percentagem da despesa corrente total utilizada em iluminação de vias públicas. [Adaptado de: INE, 2012; DGEG, 2012, CAOP 2012]

1.3 Motivação para a implementação de um sistema de controlo e monitorização

No seguimento de diversas iniciativas nacionais e europeias no âmbito da eficiência energética, nomeadamente o ECO.AP (Plano de Eficiência Energética na Administração Pública) que visa obter um nível de eficiência energética na ordem dos 20% face aos atuais valores, nos serviços públicos e nos organismos da Administração Pública, até 2020, e considerando os dados apresentados anteriormente que permitiram evidenciar a iluminação pública como um obstáculo claro no alcance destas metas, decidiu-se iniciar o estudo de uma estratégia que permitisse ultrapassar este obstáculo.

Da recolha efetuada identificaram-se as lacunas que não permitiam uma atuação eficaz no âmbito dos sistemas de iluminação pública, nomeadamente:

- inexistência de caracterização dos sistemas de iluminação pública;
- inexistência de um sistema de documentação de permita o armazenamento de um histórico de manutenção;
- ausência de um canal de comunicação apropriado entre as entidades gestoras e de manutenção;
- impossibilidade de cruzamento de dados de faturação com dados de equipamentos;

Da tentativa de endereçar estas lacunas e ultrapassá-las de forma eficaz surge a presente dissertação onde se propõe uma solução que se entende capaz de colmatar as lacunas identificadas.

Capítulo 2 Enquadramento tecnológico

Neste capítulo de enquadramento tecnológico pretende-se fazer uma introdução aos principais conceitos relacionados com a qualidade e quantidade de iluminação, bem como de algumas tecnologias de controlo utilizadas em sistemas mais simples.

2.1 Definições

2.1.1 Temperatura da cor

A temperatura de cor de uma fonte luminosa é a temperatura a que um corpo negro irradiaria a mesma cor dessa fonte luminosa. A temperatura da cor é normalmente indicada em Kelvin (K).

Existe também o conceito de temperatura de cor correlacionada, que se aplica a fontes luminosas cujo processo de emissão de luz não está associado ao aumento de temperatura de um corpo. A temperatura de cor correlacionada compara a perceção da cor da luz da fonte luminosa com a irradiada por um corpo negro radiante a uma determinada temperatura. [MIP, 2010]

As cores frias, com tons mais azulados, estão associadas a temperaturas de cor mais elevadas, enquanto que as cores quentes, com tons mais laranja e avermelhados, estão associadas a temperaturas de cor mais baixas. Tipicamente encontram-se três gamas de cor na iluminação pública:

- Cores quentes ($T < 3300\text{ K}$);
- Cores intermédias ($3300\text{ K} < T < 5000\text{ K}$);
- Cores frias ($T > 5000\text{ K}$);

2.1.2 Índice de restituição de cor (IRC)

A restituição de cor é a capacidade de restituição cromática de um objeto iluminado por efeito da radiação emitida por uma fonte de luz. O índice de restituição cromática (IRC) representa a capacidade que uma fonte luminosa tem de restituir fielmente as cores de um objeto ou superfície iluminada, comparativamente a uma fonte de referência: luz do dia. Este índice varia de 0% a 100%, representando, respetivamente, nenhuma ou total fidelidade de reprodução.

O índice de restituição de cor não está relacionado com a temperatura de cor de uma fonte luminosa visto que a temperatura de cor apenas é referente à cor da fonte e não à sua composição espectral. Desta forma, fontes luminosas que apresentem a mesma temperatura de cor podem apresentar IRC

completamente díspares. [MIP, 2010]

2.1.3 Eficiência Luminosa

A eficiência luminosa (η) de uma fonte é a relação entre o fluxo luminoso total emitido pela fonte (Φ) e a potência por ela absorvida (P). A unidade SI é o lm/W (lumen por Watt). [ADENE, 2011]

2.1.4 Iluminância

A iluminância é o quociente entre o fluxo luminoso incidente num elemento de superfície e a área desse elemento. A unidade SI é o lux (lx). [ADENE, 2011]

2.1.5 Luminância

A luminância é uma medida da densidade da intensidade da luz refletida numa dada direção, que descreve a quantidade de luz que atravessa ou é emitida de uma superfície, segundo um ângulo sólido ($\partial\Omega$). Tem como unidade SI a candela por metro quadrado (cd/m²), igualmente conhecida por nit (nt). [ADENE, 2011]

2.2 Tecnologias utilizadas em sistemas de iluminação pública

2.2.1 Lâmpadas

Podemos classificar as lâmpadas em:

- **Tecnologias Antigas:** Tratam-se de tecnologias ultrapassadas quer pela sua baixa eficiência quer também pelas fracas prestações luminotécnicas e mesmo pelos problemas ambientais associados à nocividade do mercúrio de algumas destas tecnologias. Apesar das diretrizes no sentido da eliminação destas tecnologias da IP em Portugal, verifica-se que a tecnologia de vapor de mercúrio ainda subsiste numa quantidade significativa das luminárias existentes [MIP, 2010]. Dados de 2008 apontam para 10% do consumo total.
 - **Incandescentes:** funcionam com base no fenómeno de incandescência, emitindo luz devido à elevada temperatura de um corpo (filamento). Cerca de 90 a 95% da energia consumida por este tipo de lâmpadas é perdida sob a forma de calor, fazendo com que sejam extremamente ineficientes. À baixa eficiência pode ainda associar-se um tempo médio de vida útil bastante baixo (na ordem das 1000h), fazendo desta tecnologia uma péssima opção

económica e energética. Esta tecnologia apresenta, no entanto, uma baixo custo inicial e um excelente IRC (na ordem dos 100%);

- **Vapor de Mercúrio:** o princípio de funcionamento desta tecnologia é a descarga entre dois elétrodos imersos numa atmosfera de árgon com uma pequena quantidade de mercúrio. Para além dos dois elétrodos principais, entre os quais se realiza a descarga, existe ainda um terceiro elétrodo - chamado auxiliar ou de arranque - cuja função é ionizar o gás árgon para que a descarga de inicie. Desta forma deixa de ser necessário um pico de ignição, ao contrário do que acontece, por exemplo, nas lâmpadas fluorescentes. Durante o funcionamento é necessária, no entanto, a utilização de um balastro para limitar a corrente, devido à baixa impedância que apresenta após o arranque.
- **Tecnologias do Presente:** Trata-se de um conjunto de tecnologias que apresenta melhorias significativas ao nível do desempenho energético, proporcionando níveis de eficiência muito mais elevados. Também ao nível ambiental a utilização destas tecnologias representa uma mais-valia, nomeadamente com a não utilização de mercúrio.
 - **Compactas Fluorescentes (CFL):** Trata-se de uma tecnologia com elevada eficiência e durabilidade. As CFL (Compact Fluorescent Lamps) apresentam-se como a tecnologia de eleição para a substituição das lâmpadas incandescentes, atualmente em *phase-out*, devido a fatores de forma muito semelhantes. Nesta substituição direta, o custo inicial ligeiramente mais elevado é largamente compensado pela muito maior eficiência (consome apenas cerca de 20% da energia). Apesar de inicialmente ser uma tecnologia mais vocacionada para utilização contínua e com IRC baixos, esta tecnologia tem vindo a ser melhorada, apresentando melhores valores de IRC e também melhor adequação a utilizações mais irregulares. Não obstante as grandes vantagens desta tecnologia, as CFL apresentam um baixo valor de fluxo luminoso, pelo que são mais adequadas para locais com menores necessidades de iluminação. Nas CFL podem distinguir-se duas tipologias:
 - **Integradas:** Neste caso a lâmpada e o balastro são uma única peça, estando o balastro na base da lâmpada. É o substituo ideal para lâmpadas incandescentes visto que não requer nenhuma intervenção adicional no circuito, na quase totalidade dos casos.
 - **Modulares:** Neste caso o balastro e a lâmpada são dois objetos

separados, podendo ser substituídos em ocasiões separadas. Em termos de manutenção apresenta mais vantagens visto que é possível substituir a lâmpada sem substituir o balastro, que apresenta durabilidades cinco a seis vezes superiores.

- **Vapor de Sódio**

- **Alta Pressão (VSAP):** Trata-se de uma lâmpada de descarga de alta intensidade cuja criação teve como objetivo o desenvolvimento de uma lâmpada de elevado rendimento. Desta forma, trata-se de uma lâmpada com eficiência e tempo de vida útil elevados. No interior possui uma mistura de sódio e mercúrio que é vaporizada para potenciar um arco entre os eletrodos. A temperatura e, consequentemente, a pressão do vapor serão tanto maiores quanto maior for a potência da lâmpada. A resistência elétrica da lâmpada é inversamente proporcional a estes valores, diminuindo com o aumento da pressão. Existe, no entanto, um fenómeno de degradação que provoca um aumento de potência devido ao aumento de tensão no arco entre os eletrodos. Este fenómeno que faz com que lâmpadas com mais tempo de utilização, tipicamente na segunda metade do seu tempo de vida, tenham dificuldades em arrancar com tensões reduzidas. As lâmpadas de VSAP estão disponíveis numa grande variedade de formatos e, embora tendo níveis de eficiência menores que as lâmpadas de vapor de sódio de baixa pressão (VSBP), estão ainda num patamar bastante elevado relativamente a todos os restantes tipos. As lâmpadas de VSAP apresentam também maior durabilidade e IRC.
- **Baixa Pressão (VSBP):** Esta tecnologia apresenta os melhores níveis de eficiência existentes, permitindo obter excelentes rendimentos nas instalações. Estas lâmpadas têm no seu interior uma atmosfera de sódio, néon e argon, sendo a descarga elétrica o princípio de funcionamento. Apesar dos excelentes níveis de eficiência, sendo a fonte de luz artificial de maior rendimento, tem um espectro altamente reduzido, praticamente monocromático na região dos amarelos, fazendo com que tenha o pior IRC.

- **Iodetos Metálicos:** Esta tecnologia, lâmpada de mercúrio com iodetos metálicos, surge como um aperfeiçoamento à tecnologia do vapor de mercúrio divergindo pela presença de iodetos metálicos e desempenho muito mais elevado ao nível de IRC e

eficiência, sendo 4 a 5 vezes melhor. Sendo necessário um pico de tensão muito elevado para o arranque (na ordem dos 5000 V), pode ser necessário um arrancador adequado, um eletrodo auxiliar (como nas lâmpadas de mercúrio) ou um arrancador interno (como nas lâmpadas fluorescentes). Tal como as lâmpadas de vapor de sódio, esta lâmpada encontra-se disponível numa grande variedade de formatos. Comparativamente a estas, apresenta melhores níveis de IRC e uma gama de potências disponíveis maior, tendo níveis de eficiência e um tempo de vida útil ligeiramente inferiores.

- **Tecnologias Emergentes:**

- **LED:** O LED (*Light Emitting Diode*) é composto por um díodo semicondutor encapsulado num material plástico, cerâmico ou resinoso, e por uma lente, ou difusor, a encabeçar o conjunto. Devido a esta tecnologia é necessária a presença de um *driver* (fonte de alimentação) que transforma a tensão alternada da rede na tensão contínua que alimenta o LED. As características óticas do LED são determinadas sobretudo pela sua forma, tamanho, material, configuração e distância do difusor ao díodo semicondutor. Devido à transformação de energia elétrica em luz ser efetuada dentro de matéria sólida – ao invés de utilizar filamentos ou gases – esta tecnologia também é denominada iluminação do estado sólido (*SSL – Solid State Lighting*). Devido à versatilidade da tecnologia, nomeadamente ao nível de *dimming*, direcionalidade e cor, aliada à elevada eficiência e durabilidade tem havido um aumento da procura fazendo com que sejam introduzidos novos materiais e métodos de fabricação que têm vindo a diminuir os custos associados à produção. Apesar de ser possível uma boa seleção de cor do LED através da escolha de um material adequado, o LED emite uma luz praticamente monocromática. Desta forma, nos LED mais simples, para obter uma luz mais próxima da cor branca, são normalmente utilizadas combinações de LED de várias cores. Em LED mais avançados já é possível emitir a luz branca – luz em vários comprimentos de onda – através da deposição de fósforo sobre o material semicondutor de um LED ultra-violeta, fazendo a conversão da luz ultra-violeta para luz branca como numa lâmpada fluorescente. [LED BRANCO]
- **Indução:** A lâmpada fluorescente de indução baseia-se na excitação de mercúrio e outros gases nobres presentes numa ampola ou tubo fechado pelo recurso a um campo magnético oscilante de altíssima frequência. Este campo é obtido através de uma ou duas bobinas – para o caso da ampola e do tubo

fechado, respetivamente – e de um balastro eletrónico de muito alta frequência. A conversão da radiação ultra-violeta obtida pela excitação dos gases em luz visível é obtida de forma semelhante às lâmpadas fluorescentes, através do revestimento de sais apropriados. Estas lâmpadas não têm elétrodos internos e a sua principal vantagem é a elevada durabilidade, sendo ainda de mencionar o bom IRC e a elevada eficiência energética. Por outro lado, a impossibilidade de efetuar *dimming* e a necessidade de balastros muito específicos são as principais barreiras à utilização desta tecnologia.

Tabela 2.1: Tabela de caracterização comparativa entre as principais tecnologias de lâmpadas. [Adaptado de MIP, 2010]

Tecnologia		Potência [W]	Temperatura da cor [K]	IRC [%]	Eficiência [lm/W]	Tempo de vida útil [h]
Antiga	Incandescentes	15 – 1000	2700	100	10 – 20	1000
	Vapor de mercúrio	50 – 1000	3000 – 5000	40 – 60	20 – 50	16000
	CFL integradas	3 – 25	2700 – 4000	85	35 – 70	6000 – 15000
	CFL modulares	5 – 55	2700 – 6000	85 – 98	45 – 87	10000
Presente	VSAP	50 – 1000	2000 – 3300	20 – 40	70 – 140	16000 – 32000
	VSBP	50 – 1000	1800 – 2200	10 – 20	120 – 180	16000
	Iodetos metálicos	35 – 3500	3300 – 5500	80 – 90	65 – 110	12000 – 16000
Emergente	LED	100 – 150	2700 – 4000	85	75	100000
	Indução	1 – 8	2700 – 10000	65 – 85	50 – 130	30000 – 100000

2.2.2 Balastro

O balastro é um equipamento que se encontra inserido entre a rede de IP e as lâmpadas, sendo constituído por um arrancador, um condensador e pelo balastro propriamente dito. Este último poderá ser uma reactância ou uma fonte eletrónica de alta frequência, consoante se trate de um balastro eletromagnético ou de um eletrónico. Entre as suas funções encontra-se o auxílio ao arranque da lâmpada através da geração de impulsos de sobretensão (arrancador) e corrigir o fator de potência (condensador) gerado pela indutância presente no balastro. Esta indutância tem como objetivo limitar a corrente na lâmpada, garantindo o seu funcionamento e maior durabilidade. [MIP, 2010]

Os balastros eletromagnéticos caracterizam-se pela presença de uma bobina e correspondente núcleo magnético. São tipicamente mais baratos, simples e robustos, mas apresentam grandes dimensões, elevado peso, pouca fiabilidade e baixa eficiência.

Os balastros eletrónicos não têm o circuito magnético, sendo feita a alimentação da lâmpada a alta

frequência. Estes balastros apresentam perdas reduzidas e fatores de potência elevados. Permitem ainda a regulação de fluxo, sendo essa regulação mais ou menos fina e controlável, ou não, através da rede consoante a tecnologia presente no balastro.

2.2.3 Regulador de fluxo (RFL)

Estes equipamentos, colocados à cabeceira do circuito, permitem a regulação da intensidade luminosa em períodos pré-estabelecidos. Estes períodos podem ser fixos, como as horas de menor intensidade de tráfego, ou então dependentes de sinais provenientes de sensores crepusculares, relógios astronómicos ou mesmo sistemas de controlo e gestão mais complexos. Esta redução é obtida através da aplicação de uma tensão inferior à nominal às lâmpadas, fazendo diminuir a corrente e consequentemente a potência absorvida pelo circuito de IP.

2.2.4 Relógio

Trata-se de um circuito de controlo que permite desligar ou ligar uma luminária, ou conjunto de luminárias, de acordo com horas de ligamento e desligamento pré-determinadas.

2.2.5 Relógio astronómico

Trata-se de um circuito de controlo simples que permite desligar ou ligar uma luminária, ou conjunto de luminárias, de acordo com a hora de nascer e pôr do sol. Estas horas são determinadas através da posição geográfica configurada no dispositivo e são naturalmente ajustadas ao longo do ano, representando uma vantagem clara relativamente a uma solução de relógio convencional.

2.2.6 Sensor crepuscular

O sensor crepuscular é um sensor de luz ambiente cuja célula fotoelétrica presente no interruptor crepuscular irá ligar ou desligar a iluminação como reação à diminuição ou aumento de luminosidade. Este sensor pode estar colocado à cabeceira do circuito, ligando ou desligando um conjunto de luminárias, ou pode ser colocado individualmente em cada uma das luminárias.

Capítulo 3 *State of the art*

Neste capítulo apresentam-se os resultados da pesquisa efetuada pelas melhores práticas ao nível de projetos e melhoria da eficiência em iluminação pública. Foram analisados 25 projetos em 11 países distintos, de acordo com a distribuição geográfica apresentada no mapa seguinte.

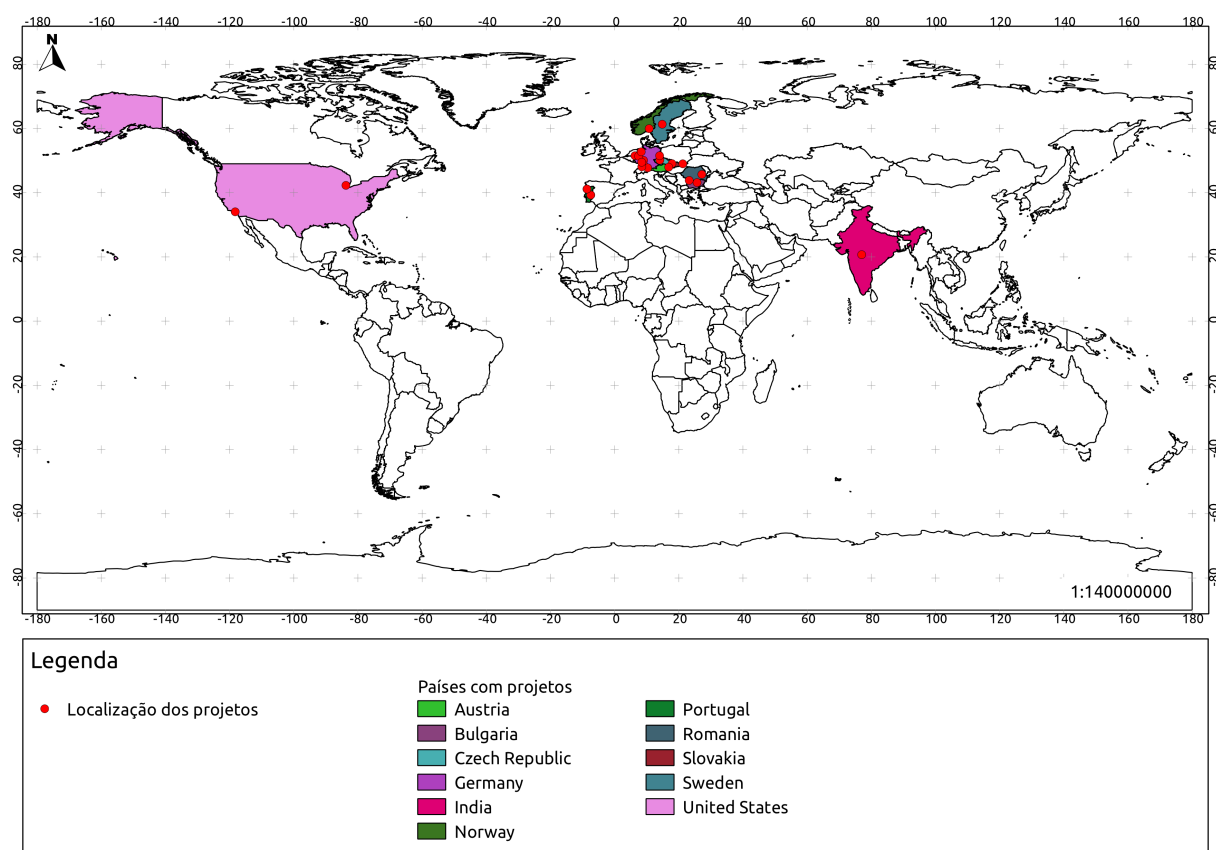


Figura 3.1: Localização dos projetos de iluminação pública analisados

3.1 Projetos analisados

Durante a fase de recolha de informação procurou-se homogeneizar o máximo possível a informação recolhida. Neste sentido, foi estabelecida uma matriz de informação relevante a recolher. Esta matriz foi preenchida para os vários projetos através do levantamento da informação publicada e complementada com outras fontes de informação disponíveis. Apesar disso, não foi possível identificar a utilização de informação geográfica nos projetos que estavam em implementação, tendo sido então enviado um email para os contactos disponibilizados por cada um dos projetos no sentido

de obter essa informação. Dado que foram recebidas apenas três respostas a esse email, essa informação não foi considerada. Contudo, nessa pequena amostra foi possível verificar que a utilização de tecnologia SIG não estava ainda a ser incorporada nos projetos no sentido de proporcionar a geo-referenciação dos componentes de iluminação pública.

3.1.1 Akola

A intervenção na cidade de Akola foi executada ao abrigo de um contrato de *Energy Savings Performance Contracting* entre o município e a AEL (Asia Electronics Limited) e consistiu na substituição das diversas tecnologias existentes (fluorescentes normais, vapor de mercúrio, vapor de sódio) por lâmpadas fluorescentes tubulares T5, mais eficientes [EECI-ESMAP-Akola, 2009].

Tabela 3.1: Dados do projeto de Akola

Investimento [k€]	120
Redução encargos [k€/ano]	133
Redução consumo energia [MWh/ano]	2.100
População [habitantes]	443.184
Payback [anos]	0,9
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.2 Ann Arbor

O projeto levado a cabo pela Cidade de Ann Arbor consistiu na instalação de iluminação pública LED. Os dados apresentados refletem os resultados da primeira fase do projeto, sendo que o objetivo da cidade é o de substituir toda a iluminação pública por tecnologia LED. Apresentam como estimativa no final do projeto uma redução de 50% no consumo de energia elétrica [NIASSEMBLY, 2009].

Tabela 3.2: Dados do projeto de Ann Arbor

Investimento [k€]	3.300
Redução encargos [k€/ano]	98
Redução consumo energia [MWh/ano]	-
População [habitantes]	115.000
Payback [anos]	33,8
Redução emissões [tCO₂/ano]	267

3.1.3 Böblingen

O projeto consistiu na substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio existentes por lâmpadas de iodetos metálicos [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.3: Dados do projeto de Böblingen

Investimento [k€]	740
Redução encargos [k€/ano]	110
Redução consumo energia [MWh/ano]	480
População [habitantes]	46.488
Payback [anos]	6,73
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.4 Focşani

O projeto consistiu na renovação da iluminação pública numa zona comercial, operando ao nível da substituição das lâmpadas incandescentes existentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e da substituição dos balastros eletromagnéticos existentes por balastros eletrónicos [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.4: Dados do projeto de Focşani

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	304,01
Redução consumo energia [MWh/ano]	3.180,975
População [habitantes]	101.854
Payback [anos]	4,2
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.5 Geldern

A intervenção no sistema de iluminação pública com vista a aumentar a sua eficiência incidiu na substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio existentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.5: Dados do projeto de Geldern

Investimento [k€]	10,435
Redução encargos [k€/ano]	3,996
Redução consumo energia [MWh/ano]	26,64
População [habitantes]	33.575
Payback [anos]	2,61
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.6 Gorna Oryahovitsa

O projeto do município de Gorna Oryahovitsa consistiu na reconstrução total do sistema de iluminação pública tendo em mente a redução de custos através da incorporação de medidas de eficiência energética, nomeadamente a substituição das lâmpadas existentes por outras mais eficientes e a introdução de um sistema de controlo centralizado [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.6: Dados do projeto de Gorna Oryahovitsa

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	133,23
Redução consumo energia [MWh/ano]	2,778
População [habitantes]	32.436
Payback [anos]	1,8
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.7 Hagen

O projeto de melhoria na eficiência da iluminação pública consistiu na substituição de lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão por lâmpadas de vapor de sódio [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.7: Dados do projeto de Hagen

Investimento [k€]	450
Redução encargos [k€/ano]	36
Redução consumo energia [MWh/ano]	312,884
População [habitantes]	188.529
Payback [anos]	12,5
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.8 Hostětín

O projeto promovido pelo Município de Hostětín em parceria com a Philips Lighting Czech Republic interveio ao nível da substituição de balastros magnéticos por balastros eletrónicos mais eficientes, substituição de lâmpadas de tecnologias obsoletas por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e iodetos metálicos. Em adição foram tomadas precauções relativamente ao correto direcionamento da luz, de forma a evitar radiação luminosa em direções indesejadas [EU-GreenLight, Hostětín].

Tabela 3.8: Dados do projeto de Hostětín

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	-
Redução consumo energia [MWh/ano]	7,574
População [habitantes]	230
Payback [anos]	7
Redução emissões [tCO₂/ano]	7.000

3.1.9 ILUMape

O projeto ILUMape foi desenvolvido pela AREANATEjo (Agência Regional de Energia e Ambiente do Norte Alentejano e Tejo) em conjunto com os municípios de Avis, Campo Maior, Castelo de Vide, Elvas, Marvão, Monforte, Portalegre e Sousel, tendo como objetivo a substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [ILUMape].

Tabela 3.9: Dados do projeto ILUMape

Investimento [k€]	2.150
Redução encargos [k€/ano]	300
Redução consumo energia [MWh/ano]	3.750
População [habitantes]	82.000
Payback [anos]	7,15
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.10 ILUPub

O projeto ILUPub foi desenvolvido em parceria pela AREANATEjo e pela CIMAA (Comunidade Intermunicipal do Alto Alentejo) e com o apoio da EDP Distribuição. Este projeto teve como objetivo melhorar a eficiência energética em iluminação pública através da análise de consumos, geo-referenciação e caracterização da rede de IP e atuando ao nível da instalação de equipamentos com RFL [ILUPub].

Tabela 3.10: Dados do projeto ILUPub

Investimento [k€]	174
Redução encargos [k€/ano]	46
Redução consumo energia [MWh/ano]	441
População [habitantes]	82.000
Payback [anos]	3,78
Redução emissões [tCO₂/ano]	210

3.1.11 Kahl

Este projeto teve como objetivo a remodelação do sistema de iluminação pública da cidade de Kahl através da introdução de equipamentos mais eficientes e com design de mais fácil manutenção [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.11: Dados do projeto de Kahl

Investimento [k€]	250
Redução encargos [k€/ano]	38
Redução consumo energia [MWh/ano]	176
População [habitantes]	7.309
Payback [anos]	6,58
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.12 Kempten

Os resultados pretendidos com este projeto eram o aumento da eficiência energética mantendo os níveis de iluminação existentes mas reduzindo o consumo de energia. Para isso o projeto focou-se na substituição de tecnologia das lâmpadas [ENEA-Kempten].

Tabela 3.12: Dados do projeto de Kempten

Investimento [k€]	700
Redução encargos [k€/ano]	80
Redução consumo energia [MWh/ano]	1.052,173
População [habitantes]	62.060
Payback [anos]	8,75
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.13 Kladno

A cidade de Kladno levou a cabo um projeto de redução de custos na iluminação pública através da redução do consumo de energia, colocando lâmpadas de menor potência e maior eficiência, bem como da redução dos custos de manutenção, através da instalação de postes com melhor isolamento [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.13: Dados do projeto de Kladno

Investimento [k€]	67
Redução encargos [k€/ano]	8
Redução consumo energia [MWh/ano]	49
População [habitantes]	70.003
Payback [anos]	3,26
Redução emissões [tCO₂/ano]	483

3.1.14 Lom

A intervenção do município ao nível da iluminação pública teve como objetivo a redução de custos. Desta forma atuou-se ao nível da eficiência da iluminação, substituindo as lâmpadas de vapor de mercúrio existentes por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão e instalando um sistema de controlo central que permite ligar e desligar a iluminação. Foi também alterado o tarifário utilizado, passando a utilizar um bi-horário, mais vantajoso para o sistema de iluminação pública [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.14: Dados do projeto de Lom

Investimento [k€]	234,23
Redução encargos [k€/ano]	107,73
Redução consumo energia [MWh/ano]	1.720
População [habitantes]	37.078
Payback [anos]	2
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.15 Los Angeles

O projeto levado a cabo pelo departamento de iluminação pública da cidade de Los Angeles incidiu na substituição da iluminação existente por unidades de LED e ainda na integração de funções de monitorização na infraestrutura de iluminação pública [NIASSEMBLY, 2009].

Tabela 3.15: Dados do projeto de L.A.

Investimento [k€]	57.000
Redução encargos [k€/ano]	10.000
Redução consumo energia [MWh/ano]	68.640
População [habitantes]	3.792.621
Payback [anos]	5,7
Redução emissões [tCO₂/ano]	40.500

3.1.16 Ludwigshafen am Rhein

A intervenção no sistema iluminação pública no sentido de melhorar a sua eficiência incidiu na substituição das lâmpadas de vapor de mercúrio existentes por lâmpadas de iodetos metálicos. Na sequência deste projeto ficou a intenção do município de trocar todas as lâmpadas de vapor de mercúrio por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.16: Dados do projeto Ludwigshafen am Rhein

Investimento [k€]	305
Redução encargos [k€/ano]	50
Redução consumo energia [MWh/ano]	85,68
População [habitantes]	164.351
Payback [anos]	6,1
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.17 Neusiedl am See

O projeto levado a cabo pelo município de Neusiedl am See teve como objetivos a melhoria da eficiência energética e da segurança da população. No primeiro caso, da eficiência energética, toda a iluminação existente foi substituída por lâmpadas de vapor de sódio de alta pressão, mais eficientes que as diversas existentes. Foi igualmente instalado um sistema de monitorização e controlo e instalados balastros eletrónicos reguláveis em substituição dos balastros magnéticos existentes. Com vista ao aumento da segurança da população foi instalada iluminação adicional específica nas passagens de peões, de forma a aumentar o contraste com a envolvente [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.17: Dados do projeto de Neusiedl am See

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	-
Redução consumo energia [MWh/ano]	358,665
População [habitantes]	7.005
Payback [anos]	-
Redução emissões [tCO₂/ano]	179,33

3.1.18 Oslo

O projeto levado a cabo na cidade de Oslo através de uma ação conjunta da Cidade de Oslo e a Hafslund Nett AS (empresa de distribuição de energia elétrica) teve como principais objetivos a substituição das infraestruturas existentes, baseadas em tecnologia de mercúrio, por sistemas de maior eficiência energética, baseados em sódio de alta pressão bem como a implementação de um sistema de *Intelligent Street Light* com capacidades de monitorização de condições atmosféricas, tráfego, medição de consumos e controlo remoto de todas as instalações [NIASSEMBLY, 2009].

Tabela 3.18: Dados do projeto de Oslo

Investimento [k€]	12.000
Redução encargos [k€/ano]	450
Redução consumo energia [MWh/ano]	4.500
População [habitantes]	560.000
Payback [anos]	26,67
Redução emissões [tCO₂/ano]	1.440

3.1.19 Prešov

A otimização do sistema de iluminação pública foi alcançada através da introdução de um sistema de monitorização e controlo adaptativo que reage às condições meteorológicas e de luminosidade. Foi igualmente realizada a substituição da totalidade das luminárias antigas existentes de forma a homogeneizar e melhorar o sistema existente [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.19: Dados do projeto de Prešov

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	-
Redução consumo energia [MWh/ano]	1.585
População [habitantes]	91.650
Payback [anos]	-
Redução emissões [tCO₂/ano]	975

3.1.20 Senftenberg

O projeto consistiu na substituição de luminárias de forma a passar a utilizar lâmpadas mais eficientes e uniformizar os equipamentos existentes [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.20: Dados do projeto de Senftenberg

Investimento [k€]	42
Redução encargos [k€/ano]	11,02
Redução consumo energia [MWh/ano]	64,62
População [habitantes]	26.530
Payback [anos]	3,81
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.21 Vattenfall Service Nord AB

A intervenção na iluminação pública no âmbito deste projeto Sueco teve âmbito nacional e incidiu na substituição de lâmpadas existentes por lâmpadas de iodetos metálicos e balastros eletrónicos inteligentes desenvolvidos pela própria Vattenfall [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.21: Dados do projeto Vattenfall Service Nord AB

Investimento [k€]	-
Redução encargos [k€/ano]	-
Redução consumo energia [MWh/ano]	1.232
População [habitantes]	-
Payback [anos]	-
Redução emissões [tCO₂/ano]	1.109,5

3.1.22 Vechta

Nesta intervenção foram substituídas as lâmpadas de vapor de mercúrio de alta pressão existentes por lâmpadas de iodetos metálicos, mais eficientes [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.22: Dados do projeto de Vechta

Investimento [k€]	16,056
Redução encargos [k€/ano]	2
Redução consumo energia [MWh/ano]	13,248
População [habitantes]	31.516
Payback [anos]	8,03
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.1.23 Vila Nova de Gaia (2002)

O projeto levado a cabo pela ENERGAIA (Agência de Energia do Sul da Área Metropolitana do Porto) com o apoio da EDP Distribuição focou-se na instalação de controladores de fluxo com o objetivo de reduzir o consumo e aumentar o tempo de vida útil das lâmpadas [ENERGY-CITIES].

Tabela 3.23: Dados do projeto de Gaia (2002)

Investimento [k€]	10,5
Redução encargos [k€/ano]	30
Redução consumo energia [MWh/ano]	315
População [habitantes]	310.086
Payback [anos]	4
Redução emissões [tCO₂/ano]	166

3.1.24 Vila Nova de Gaia (2008)

O projeto de otimização do sistema de iluminação pública encetado pela ENERGAIA (Agência de Energia do Sul da Área Metropolitana do Porto) teve como objetivo a redução do consumo de energia elétrica através da introdução de reguladores de fluxo. Paralelamente foram instalados dispositivos de controlo e monitorização que permitem uma avaliação contínua de resultados [ENERGY-CITIES].

Tabela 3.24: Dados do projeto de Gaia (2008)

Investimento [k€]	2.167,102
Redução encargos [k€/ano]	630
Redução consumo energia [MWh/ano]	7.700
População [habitantes]	310.086
Payback [anos]	3,44
Redução emissões [tCO₂/ano]	3.400

3.1.25 Villingen-Schwenningen

As ações levadas a cabo no âmbito deste projeto tiveram como principal objetivo o aumento da eficiência energética através da eliminação das lâmpadas com tecnologia de vapor de mercúrio. Como substitutos mais eficientes foram utilizadas lâmpadas com tecnologia LED e vapor de sódio de alta pressão [EU-GreenLight, 2011].

Tabela 3.25: Dados do projeto de Villingen-Schwenningen

Investimento [k€]	370,8
Redução encargos [k€/ano]	9,26
Redução consumo energia [MWh/ano]	66,4
População [habitantes]	81.022
Payback [anos]	40,04
Redução emissões [tCO₂/ano]	-

3.2 Tecnologias e procedimentos

No seguimento da análise dos projetos apresentados foram estudados diversos indicadores no sentido de evidenciar os principais objetivos e as principais metodologias na execução deste tipo de projetos. Este estudo pode ser dividido em 4 grupos:

- *Intelligent Street Lighting*;
- Substituição da tecnologia de lâmpadas;
- Introdução de equipamento de regulação;
- Levantamento e caracterização;

Nas análises apresentadas em seguida é avaliado o estado dos sistemas de iluminação pública depois de implementados os projetos estudados. Esse estado pode ser resultado não só das intervenções relacionadas com o projeto em estudo, mas também de intervenções prévias que possam ter existido ou das características iniciais do sistema de IP. Esta opção resulta do interesse principal de saber qual o resultado final esperado para o sistema de iluminação pública e elimina a discrepância que poderia existir no estudo de projetos em implementação sobre instalações mais ou menos ajustadas à partida.

3.2.1 Intelligent Street Lighting

A expressão *Intelligent Street Lighting* é utilizada para denominar um sistema que permite ter monitorização e controlo sobre a iluminação pública mediante a introdução de uma variedade de equipamentos e sistemas de *software*. O alcance da monitorização e controlo é variável, podendo ir desde parâmetros básicos como ligar/desligar até sistemas mais complexos que avaliam e adequam a iluminação de acordo com as condições de tráfego e meteorologia. Nesta análise avaliou-se exclusivamente a existência, ou ausência, de sistemas de controlo ou monitorização sem ser debatido o alcance desses sistemas.

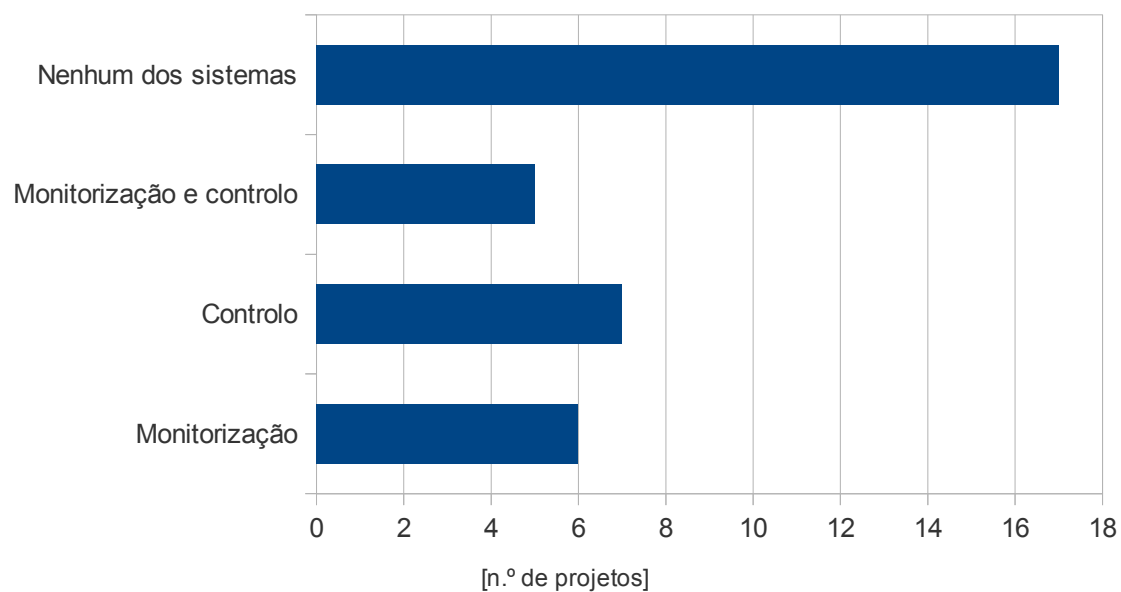


Figura 3.2: Implementação de sistemas de intelligent street lighting

Da análise do gráfico apresentado na Figura 3.2 é possível verificar que os sistemas de controlo e monitorização estão presentes ainda num número relativamente baixo de instalações e que estes sistemas, quando presentes, estão-no em conjunto. Note-se que apenas 20% do total de 25 instalações analisadas apresenta sistemas de monitorização e controlo. Estes casos estão assinalados na Tabela 3.26 e serão alvo de análise mais detalhada.

Tabela 3.26: Detalhe das tecnologias e procedimentos identificados

	Intelligent Street Light		Subst. Tecnologia Lâmpadas			Equipamento de regulação		Levantamento e caracterização		
	Monitorização	Controlo	LED	VSAP	Fluorescentes tubulares	Iodetos metálicos	Balastros eletrónicos	Reguladores de fluxo	Mapeamento	Uniformização tecnológica
Oslo	Sim	Sim		Sim					Sim	
ILUMape				Sim						
ILUPub								Sim	Sim	
L.A.	Sim		Sim							Sim
Ann Arbor			Sim							Sim
Akola					Sim					Sim
Gaia 2002								Sim		
Gaia 2008	Sim	Sim						Sim		
Kladno				Sim						Sim
Hostětín				Sim		Sim	Sim			
Goma Oryahovitsa		Sim								
Focșani				Sim			Sim			
Kahl										Sim
Lom		Sim		Sim						
Prešov	Sim	Sim								Sim
Böblingen						Sim				
Geldern				Sim						Sim
Hagen				Sim						Sim
Kempton				Sim						Sim
Senftenberg										Sim
Vechta						Sim				
Villingen-Schwenningen			Sim	Sim						
Neusiedl am See	Sim	Sim		Sim			Sim			Sim

3.2.2 Substituição da tecnologia de lâmpadas

Neste grupo de análise procedeu-se à investigação das tecnologias de eleição para a reformulação de sistemas de IP. Da análise efetuada resulta que 72% dos projetos visavam a substituição da tecnologia utilizada nas lâmpadas e, desses, cerca de 60% pretendiam passar a dispor de lâmpadas com tecnologia de vapor de sódio de alta pressão, conforme ilustrado na Figura 3.3.

Na Tabela 3.26 estão apresentados os resultados detalhados da recolha efetuada. Da análise dessa tabela resulta evidente que a quase totalidade – exceções unicamente para Hostětín e Villingen-Schwenningen – pretende efetuar a substituição para uma única tecnologia. De facto, um dos motivos identificados para a necessidade de intervenção em sistemas de IP é a heterogeneidade de tecnologias implementadas, sobretudo ao nível da tecnologia das lâmpadas e das luminárias. Apesar de esta heterogeneidade não implicar, necessariamente, uma rede de IP pouco eficiente, indica contudo a necessidade de custos acrescidos na manutenção de stocks e controlo de fornecedores.

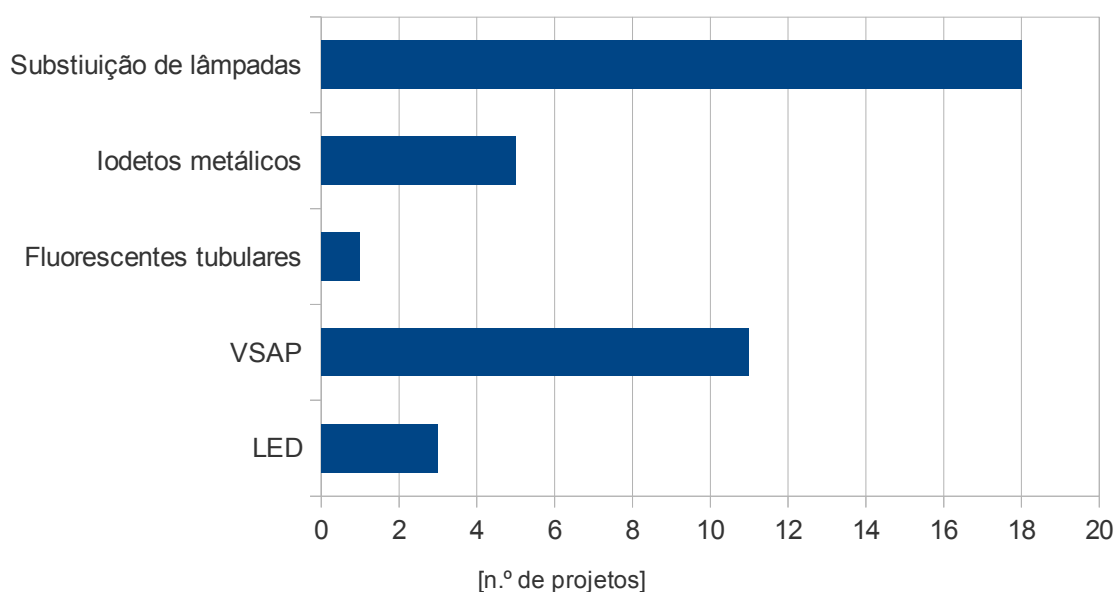


Figura 3.3: Substituição de tecnologia de lâmpadas

Na Tabela 3.26 é possível verificar que apenas três projetos preveem a instalação de tecnologia LED, sendo de referir que esses projetos têm arranque previsto para um ano posterior a 2009 enquanto que todos os restantes são anteriores a esse ano. Seria de esperar, na sequência desta observação, que a penetração da tecnologia LED pudesse já ser relevante no presente. No entanto, e apesar de não existir nenhuma estatística oficial que o indique, os projetos de reformulação de IP atualmente em

curso continuam a apresentar o LED como uma tecnologia emergente e cuja implementação é encarada como projeto piloto.

3.2.3 Introdução de equipamento de regulação

Através da introdução de equipamento de regulação poderá ser possível alcançar uma maior eficiência energética global no sistema. Nesta análise foram identificadas duas tecnologias principais:

- balastros eletrónicos: permitem obter uma maior eficiência do que os eletromagnéticos e, fazendo uma seleção adequada, poderão permitir a implementação de *dimming* no sistema.
- reguladores de fluxo: ao regular a intensidade luminosa permitem obter poupanças de energia na ordem dos 25 a 40%.

Apesar da existência de outros equipamentos de regulação importantes no controlo e obtenção de sistemas de IP mais eficientes, como a introdução de sensores crepusculares ou relógios astronómicos, esses equipamentos não foram identificados nos projetos listados. Na Figura 3.4 apresenta-se uma análise dos equipamentos de regulação instalados nos projetos estudados.

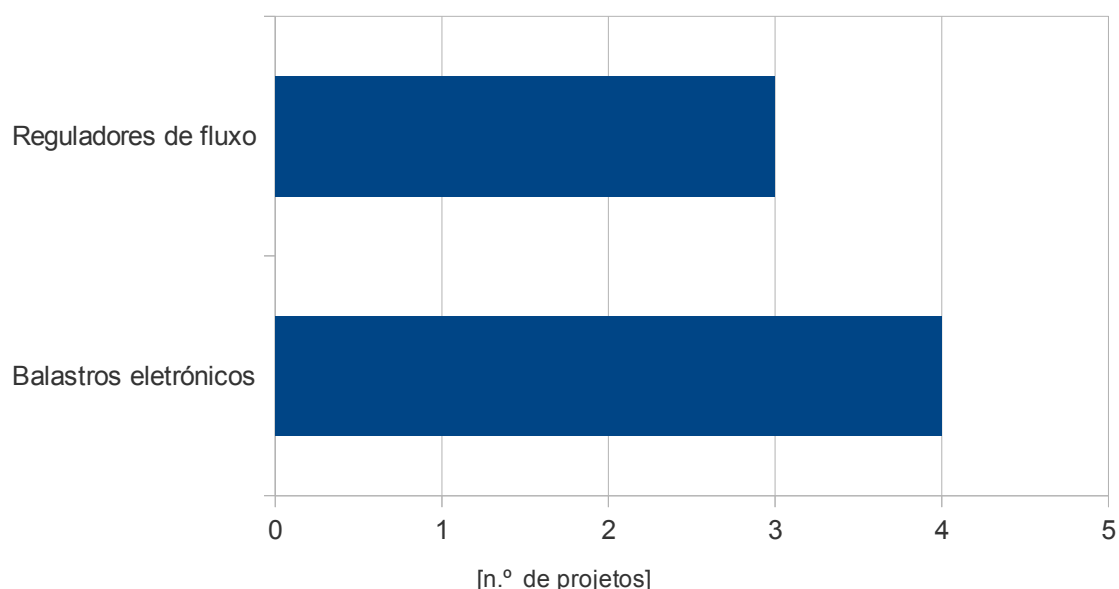


Figura 3.4: Introdução de equipamento de regulação

3.2.4 Levantamento e caracterização

Neste ponto pretendem-se identificar duas características dos projetos em estudo: levantamento da

IP existente com enfoque principal na identificação da localização geográfica das diversas componentes do sistema; e intervenção no sentido de uniformizar o sistema de IP existente, como resultado da caracterização do mesmo. Apresenta-se na Figura 3.5 o gráfico com os resultados da análise efetuada.

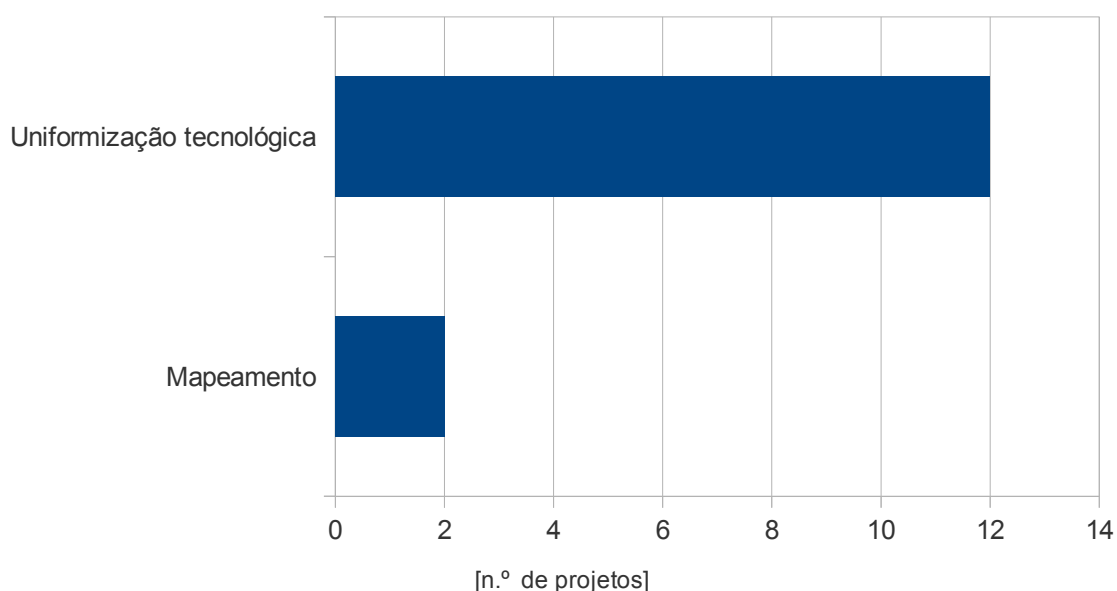


Figura 3.5: Levantamento e caracterização

3.3 Análise de projetos de Intelligent Street Lighting

Procedeu-se ainda, na sequência da análise deste largo conjunto de projetos, à análise mais detalhada dos quatro projetos que implementaram sistemas de controlo e monitorização – Neusiedl am See, Oslo, Prešov e Vila Nova de Gaia (2008). Desta forma pretende-se demonstrar de que forma estes projetos apresentam características que os tornam desadequados para aplicação mais abrangente, sobretudo quando não existe disponibilidade financeira para intervenções de fundo, como a substituição de equipamentos em larga escala.

Verificou-se assim que os projetos que estavam orientados para a implementação de sistemas deste tipo implicavam a substituição de equipamentos nos pontos de luz em grande quantidade, como é o caso de Oslo que substituiu o equipamento de 10.000 pontos de luz ou Prešov que substituiu mais de 45%. De igual forma, em Neusiedl am See, foram substituídos todos os balastros magnéticos por

balastros eletrónicos que permitem a regulação de luminosidade. No caso de Vila nova de Gaia não são apresentadas medidas de substituição de equipamentos mas sim a instalação de reguladores de fluxo em alguns dos circuitos existentes. Trata-se de uma medida que permite apenas um controlo moderado da instalação uma vez que a utilização de reguladores de fluxo é limitada pelas características do circuito em que se implementa, no sentido em que a diminuição da tensão de alimentação de um circuito aliada à queda de tensão existente ao longo desse mesmo circuito pode fazer com que haja uma iluminação deficiente em alguns locais.

Na descrição destes quatro projetos não é possível também encontrar referência à inclusão de nenhuma outra informação relativa à gestão e manutenção da rede como sendo a possibilidade de inclusão de dados de faturação e leituras de contadores ou de intervenções na rede. Estes dados consideram-se da maior importância no sentido em que permitem identificar os pontos de maior consumo e, dessa forma, adequar e priorizar as ações de intervenção na rede para os pontos de maior interesse, quer seja por ter tempos de retorno mais pequenos quer seja por ter consumos mais elevados.

Com esta análise demonstra-se a necessidade de um sistema adaptativo e que permita acompanhar todas as intervenções numa rede de iluminação pública, desde o desligamento de pontos de luz até à instalação de sistemas de controlo e monitorização.

Capítulo 4 Proposta

Neste capítulo pretende-se apresentar uma proposta de solução para as questões identificadas no capítulo referente à motivação. Durante a fase de pesquisa surgiram, naturalmente, diversas opções possíveis relativamente às tecnologias a utilizar bem como à melhor forma de as utilizar no contexto da eficiência energética na iluminação pública. Essas opções mostraram diferentes graus de divergência, tendo sido recolhidas e tentativamente complementadas as melhores práticas de cada opção no sentido de apresentar uma solução que se entendeu ser a melhor.

4.1 Identificação da solução

Após a identificação das principais lacunas propõe-se como solução uma plataforma de gestão e monitorização da rede de IP capaz de agregar informação de caracterização tecnológica e geográfica de todos os componentes que a constituem, de forma hierárquica.

Esta solução combina diversos contributos de áreas diferentes, nomeadamente os sistemas de informação geográfica, os sistemas de informação, luminotecnia, eletrotécnica, etc., no sentido de conjugar as respetivas influências e apresentar uma capacidade acrescida de agregação de fontes de dados distintas, para criar informação de valor acrescentado. Em todos os passos da criação da arquitetura apresentada neste capítulo foram tidas em conta as possibilidades de escalabilidade do sistema, quer no âmbito geográfico de aplicação quer nas capacidades de análise e interoperabilidade.

Desta forma, a criação de uma base de dados com capacidades de análise espacial foi identificada como a estrutura principal que permite armazenar de forma organizada e relacionada todos os dados passíveis de recolha no âmbito da caracterização física e energética do sistema de IP. Sendo possível a interligação desta base de dados a um conjunto alargado de sistemas diferentes, como software de análise SIG *desktop* por exemplo, optou-se pela criação da interface com recurso à extensão de um gestor dinâmico de conteúdos, permitindo assim a interação dos utilizadores com a BD através de um *browser*. Este gestor dinâmico de conteúdos permite ainda a criação de API básicas para acesso a serviços *web*.

Como identificado inicialmente, a lacuna principal dos sistemas de IP é o desconhecimento dos elementos que a constituem e a sua localização. Mesmo quando existem alguns dados sobre os sistemas instalados, eles são constituídos por listagens sem caracterização geográfica nem capacidade de atualização. Trata-se mesmo, muitas vezes, de informação difícil de localizar no

tempo, não se sabendo concretamente a data de levantamento da informação.

A resposta proposta pela solução apresentada vem possibilitar a caracterização física, energética e geográfica dos sistemas de IP. Permite, assim, um conjunto de análises capaz de produzir ou permitir a produção de resultados mais céleres ao nível da melhoria das rede de IP visando o aumento da sua eficiência e da adequabilidade da iluminação, levando consequentemente a uma redução de custos e melhoria das funções de segurança e embelezamento.

4.1.1 Estrutura de Dados e DER

A base de dados principal do sistema é uma base de dados suportada pelo SGBD PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS instalada. Desta forma é possível guardar campos de tipo geográfico e executar algumas ações de processamento geográfico. Apresentam-se aqui blocos específicos no sentido de ilustrar a descrição da base de dados.

A estrutura criada está hierarquizada da mesma forma que os sistemas de IP. O posto de transformação é considerado como a entidade de mais alto nível, podendo ter ligados zero ou mais circuitos de IP. Por fim, cada circuito de IP pode ter ligados zero ou mais pontos de luz. Para cada nível é possível agregar um conjunto de informação diferente, permitindo também análises diferentes.

Na base de dados esta estrutura é implementada como ilustrado no pormenor do DER da Figura 4.1. Nesta figura são apresentadas todas as tabelas diretamente ligadas à tabela *tbl_transformation_station_circuit*, onde são guardados os dados relativos aos sistemas de IP.

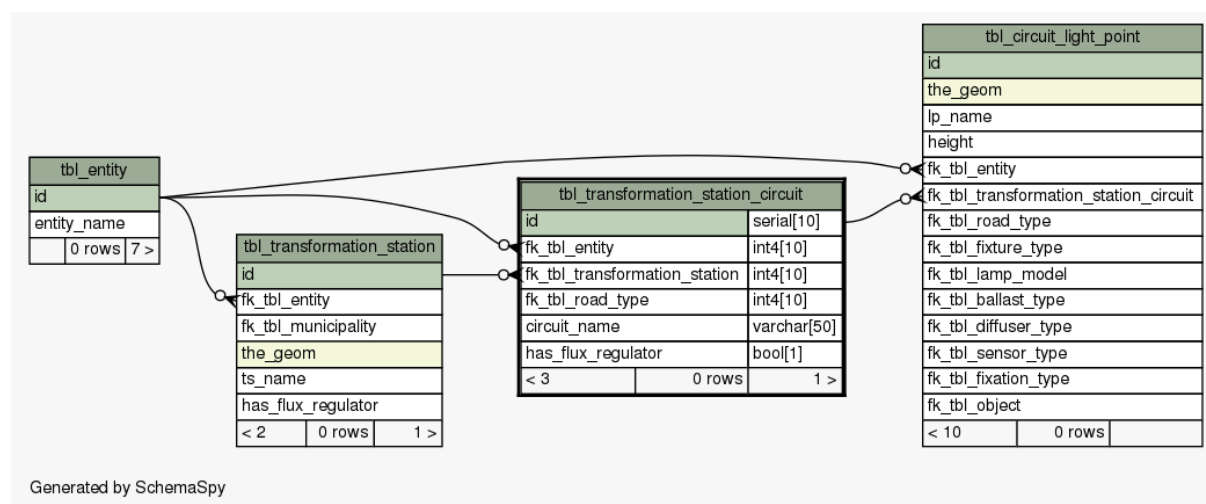


Figura 4.1: Pormenor do DER relativo à hierarquia do sistema de IP

No sentido de otimizar a estrutura da BD foram ainda criadas algumas tabelas relativas a entidades abstratas. Estas tabelas permitem evitar a duplicação de tabelas com conteúdos e estruturas semelhantes, como ficheiros, contactos ou comentários uma vez que permite a existência de uma

identificação única no sistema para cada um dos seus componentes. A tabela *tbl_entity* é um destes casos. Como se pode ver na figura, as tabelas *tbl_transformation_station*, *tbl_transformation_station_circuit* e *tbl_circuit_light_point*, apesar de estarem em níveis hierárquicos consecutivos, têm uma ligação à tabela de entidades. Desta forma, cada um destes componentes, para além do seu campo *id* – identificador único em cada tabela, definido como chave primária – tem também um identificador único na tabela de entidades, sequencial e independente do tipo de entidade. Esta ligação é garantida através da definição de uma chave estrangeira em cada uma das tabelas e de um *trigger* que cria um novo registo na tabela de entidades sempre que um novo componente é adicionado ao sistema. Este *trigger* é responsável também por guardar o nome da tabela onde está a ser criado o novo componente e por atualizar nessa tabela o valor da chave estrangeira. Com a informação guardada desta forma é possível distinguir os diversos componentes do sistema através do seu identificador único da tabela de entidades. Na Figura 4.2 apresenta-se um conjunto de informação associado a uma entidade através do mecanismo descrito.

Códigos de ponto de entrega

Código de ponto de entrega	Contrato	Contador	Ações		
PT 0002 000 010 898 373 FX	231313123213	13903505			

Adicionar CPE

Contactos

Nome	Email	Telefone	Notas	Ações	
José Silva	contacto@email.pt	991234567	Responsável CM		

Adicionar contacto

Comentários

Título	Texto	Ações
Intervenção	É necessário contactar o responsável para qualquer intervenção	

Adicionar comentário

Ficheiros

Título	Nome	Data de criação	Acessos	Ações
--------	------	-----------------	---------	-------

Adicionar ficheiro

Figura 4.2: Informação comum aos postos de transformação e circuitos através da entidade.

4.1.1.1 Posto de transformação

O posto de transformação é caracterizado pelo município onde se encontra, pelo seu nome, pela indicação da presença ou não de um regulador de fluxo e as coordenadas da sua localização.

Na Figura 4.3 mostra-se um detalhe da interface web onde está apresentada a informação relativa a um PT e a listagem dos circuitos seus dependentes.

Complementarmente à informação de localização geográfica do PT é apresentado um mapa, permitindo um enquadramento e identificação mais rápidos.

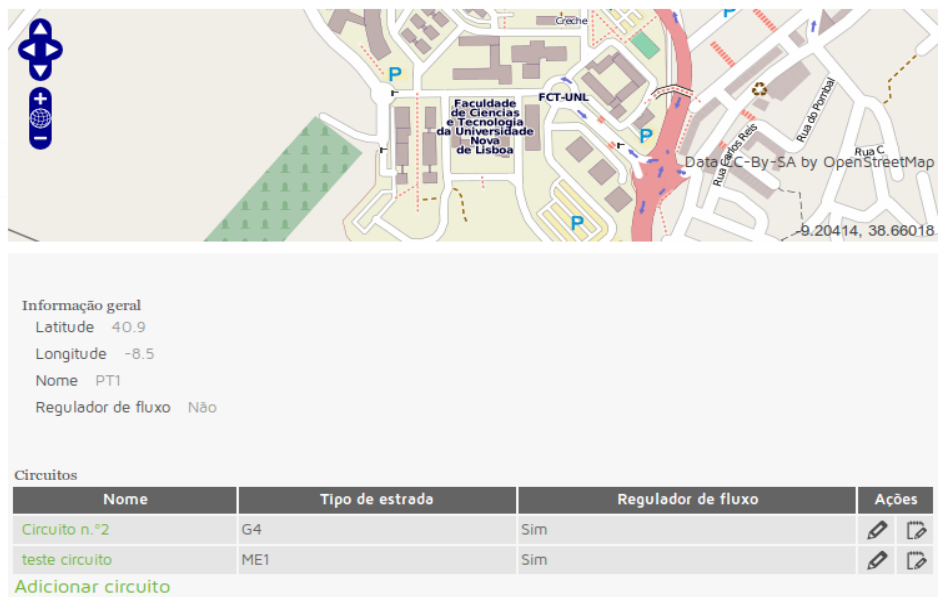


Figura 4.3: Detalhe da interface de visualização de um posto de transformação.

Em todas as circunstâncias onde se justifica a presença de um mapa com a localização das infraestruturas optou-se pela apresentação do mapa base do projeto *OpenStreetMap* com a camada de dados sobreposta. Desta forma e através da utilização de uma biblioteca de mapas *javascript* de código aberto, em conjunto com alguns *scripts* desenvolvidos para o efeito, é possível a navegação no mapa através de ações de *pan* e *zoom*.

4.1.1.2 Circuito de IP

Cada circuito é caracterizado pelo posto de transformação do qual deriva, pelo seu nome, pela presença de um regulador de fluxo, pela sua localização geográfica e ainda a indicação to tipo de via onde se encontra [EN 13201]. É de acordo com o tipo de via a iluminar que são estabelecidos os parâmetros luminotécnicos básicos a cumprir.



Figura 4.4: Detalhe da interface de visualização de um circuito

Na Figura 4.4 apresenta-se um detalhe da interface de visualização de um dos circuitos. Para além do mapa, já referido também para os postos de transformação, e dos detalhes do circuito em questão, é também apresentada uma lista com as principais características dos pontos de luz associados a este circuito.

Devido à quantidade de parâmetros de caracterização dos pontos de luz não são todos apresentados na listagem. No entanto, é possível utilizar o *link* “Detalhes” disponível para aceder a todos os parâmetros, como se pode ver na Figura 4.5.

Detalhes	
Nome	Ponto 1
Latitude	40.9
Longitude	-8.5
Altura (m)	12
Tipo de estrada	ME2
Classe de estrada	ME2
Luminária	Subterrânea 12W/18W
Modelo de lâmpada	Econic Lâmpada
Potência (kW)	7
Balastro	Eletrónico
Difusor	Plástico semi-opalino
Sensor	Interruptor crepuscular
Tipo de fixação	Coluna de Betão

Figura 4.5: Caracterização de um ponto de luz

4.1.1.3 Entidade

Entidades são todos os elementos do sistema que possam ser referenciados por um identificador único. Neste caso, os postos de transformação, circuitos e pontos de luz são entidades. O identificador único permite a introdução de informação adicional específica a cada entidade, mas não específica do tipo de componente. A introdução de informação adicional, é facultativa.

Os dados que é possível acrescentar aos postos de transformação e aos circuitos são os seguintes:

- comentários;
- contactos;
- códigos de ponto de entrega (CPE);
- ficheiros;

Na Figura 4.6 mostram-se as relações entre estas tabelas e a tabela de entidades.

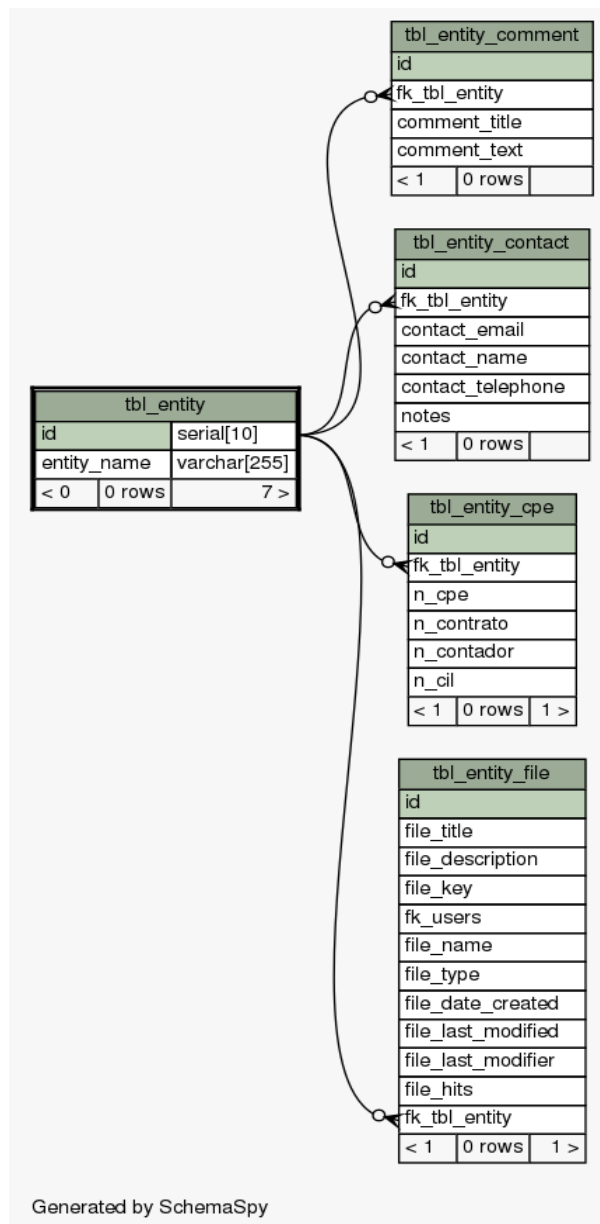


Figura 4.6: Detalhe do DER evidenciando as ligações da tabela de entidades

O sistema está preparado para emitir relatórios em tempo real relativos aos postos de transformação e aos circuitos. Estes relatórios apresentam a caracterização do componente, informações de contactos, histórico de comentários e ainda uma análise dos consumos energéticos associados.

A anexação de contactos, comentários e ficheiros a cada posto de transformação e circuito assiste na identificação rápida de pessoas de contacto e na criação de um registo de ocorrências ou intervenções. A adição de ficheiros permite que qualquer tipo de informação seja inserido, nomeadamente faturas, fotografias, esquemas técnicos, etc. No caso de ser necessária alguma intervenção é possível consultar toda a informação através de qualquer dispositivo com acesso à

Internet, promovendo intervenções mais rápidas e com um maior conhecimento do sistema em causa. No caso de serem anexadas faturas no formato *Electronic data interchange (EDI)* disponibilizado pela EDP é possível dar uma instrução ao sistema de forma a que faça uma análise dos dados aí contidos e os adicione à base de dados de forma automática.

Para além das características mencionadas são ainda adicionados *quick response codes (QR Codes)* relativos aos contactos e à entidade. Os *QR Codes* permitem que dispositivos como *smartphones* ou *tablets* possam utilizar a informação neles contida. Para tal basta utilizar um *software* de decodificação, dos muitos disponíveis para as várias plataformas, e captar a imagem do *QR Code* com a câmara desse dispositivo. São disponibilizados códigos com os *VCard* dos contactos, que possibilitam a adição imediata destes ao livro de endereços, e o código da entidade, que permite aceder diretamente à vista dessa entidade na plataforma online. Apresenta-se na Figura 4.7 um exemplo de *QR Code* de um *VCard*.



Figura 4.7: Exemplo de *QR Code* de um *VCard*.

O conjunto de toda a informação indicada permite, assim, que o sistema admita ou faculte um conjunto alargado de análises. Podem referir-se algumas:

- **seleção de pontos de luz com base num conjunto de características:** possibilidade de identificar, listar e mapear, de forma expedita, os pontos de luz que apresentem determinada característica, ou conjunto de características, permitindo ações mais objetivas no terreno, assim como a sua priorização. Por exemplo, é possível rapidamente identificar os pontos de luz que ainda utilizam tecnologias menos eficientes e atuar primeiro nesses pontos.
- **verificar índices de heterogeneidade:** possibilidade de listar todas as tecnologias e modelos de equipamentos utilizados e a sua quota de utilização. Como foi identificado ao longo da pesquisa das melhores práticas, uma das ações que permite fazer uma manutenção mais eficaz dos sistemas de iluminação pública é progredir no sentido de homogeneizar os modelos dos componentes da rede. Esta análise pode, portanto, auxiliar os decisores no momento de escolher as tecnologias ou modelos de substituição quando é feita uma intervenção no sistema de IP.

- **localização geográfica de postos de transformação:** é possível ver a distribuição dos diversos PT no território permitindo, por exemplo, que essa localização seja cruzada com cartas de risco de incêndio ou de leito de cheias. Não sendo uma medida de eficiência energética pode ajudar a prever e evitar eventuais problemas e custos devidos a fatores externos.
- **localização geográfica dos pontos de luz:** através da localização dos pontos de luz do sistema é possível estabelecer raios de ação ou zonas prioritárias de intervenção pelo cruzamento com outras camadas de informação geográfica. Por exemplo, o cruzamento desta informação com a localização das paragens de autocarro ou de escolas com utilização noturna poderá permitir identificar essas zonas como prioritárias na resolução de eventuais problemas técnicos.
- **hierarquia:** neste momento, caso seja necessário intervir num posto de transformação, ou num circuito, não é possível saber quais as zonas que serão afetadas por essa intervenção. As poucas exceções a esta regra são resultado do conhecimento de um conjunto muito restrito de técnicos que sabem – por experiência – estabelecer essa relação. De igual forma, sendo necessário intervir num ponto de luz, é necessário primeiro identificar o circuito e posto de transformação a que pertence. Esta operação é feita desligando em sequência os postos de transformação. Naturalmente, este método apresenta diversas desvantagens quer seja em termos de método, quer seja em termos de eficiência da intervenção. Pelo estabelecimento das hierarquias identificadas nesta solução passa a ser possível rapidamente colmatar as falhas apresentadas devido à falta de informação quer na fase de preparação, em gabinete, quer na fase operacional, no terreno.
- **consumo de energia:** uma vez que o sistema permite que seja guardada informação relativa aos consumos de cada um dos componentes da rede de IP é possível identificar aqueles que apresentam maiores consumos e elevá-los numa escala de prioridades de análise e eventual intervenção.
- **adequação do consumo de energia:** uma vez que se conhecem os consumos de energia de cada uma dos componentes do sistema e as potências dos equipamentos, bem como a quantidade e necessidade de iluminação, é possível verificar a sua adequação e, eventualmente, estabelecer limites para o aparecimento de alarmes. Por exemplo, dois circuitos ou dois postos de transformação que tenham conjuntos de pontos de luz em quantidade semelhante deveriam apresentar consumos semelhantes. Se esta situação não se verificar poderá ser analisada a causa da diferença.

4.2 Implementação do sistema

4.2.1 Arquitetura

Apresenta-se nesta fase a estrutura que se entende mais adequada para possibilitar a utilização do sistema da forma pretendida.

Optou-se pela utilização de um sistema com 4 camadas:

- camada de apresentação;
- camada de interface;
- camada de serviço;
- camada de dados.

Embora seja mais comum a utilização de sistemas com arquiteturas de três camadas – apresentação, serviço e dados – optou-se pela evidenciação de uma quarta camada – interface – que é responsável por aceitar todos os pedidos, sejam através de um *browser* ou de um cliente da API de serviços. Tendo esta implementação em mente, toda a camada de serviço foi desenhada de forma a ser facilmente replicável. Com a estrutura apresentada, é possível rapidamente escalar a capacidade de resposta do sistema bastando para isso acrescentar clones da camada de serviço. Uma vez que não residem dados nesta camada, é possível ligar e desligar máquinas consoante a necessidade de resposta sem que isso tenha implicações na informação existente, no seu processamento e, acima de tudo, na sua consistência.

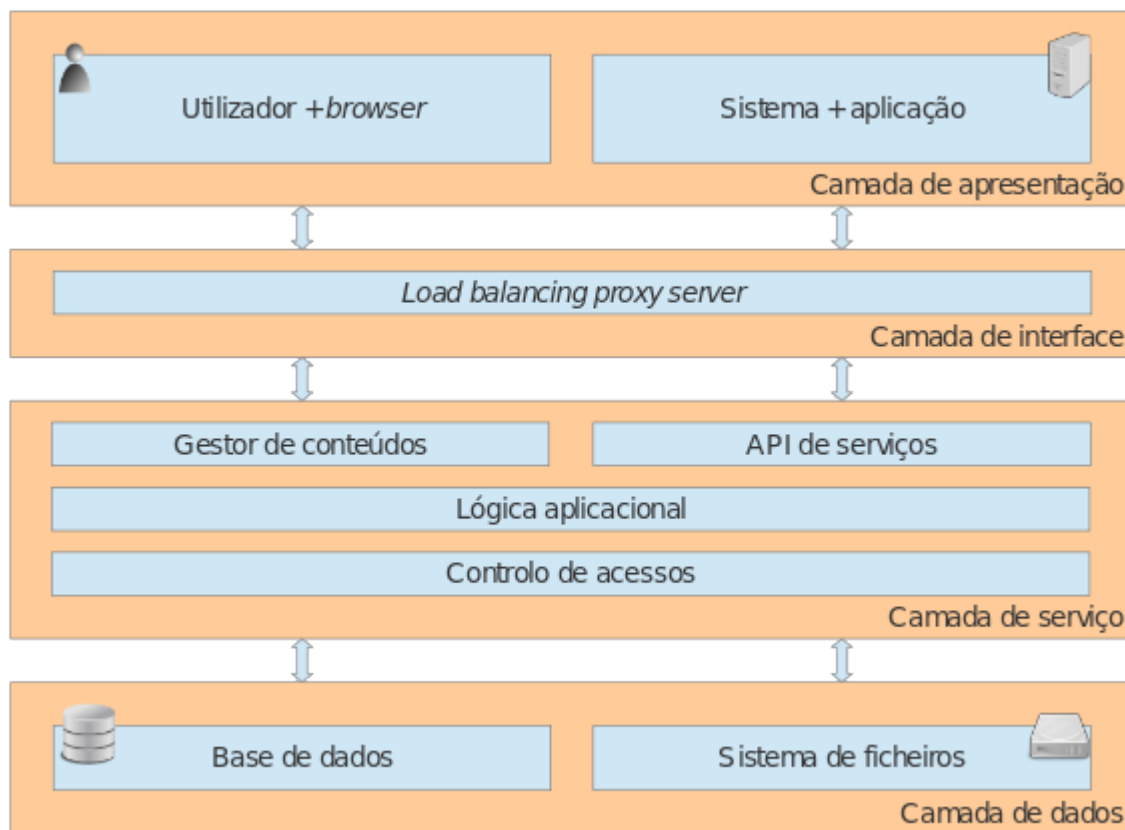


Figura 4.8: Arquitetura do sistema

4.2.1.1 Camada de apresentação

Esta é a camada mais próxima do utilizador e na qual é possível ter acesso às funcionalidades do sistema. É possível a utilização do mesmo através de um *browser* que acede à interface criada no gestor de conteúdos ou através de qualquer aplicação que possa aceder à API de serviços. Neste ultimo caso podem referir-se dois tipos de clientes possíveis: sistemas autónomos que fazem chamadas ao sistema para pedir ou introduzir dados (por exemplo um sistema de tele-contagem) ou também aplicações desenvolvidas especificamente para dispositivos móveis (Android ou iOS, por exemplo).

4.2.1.2 Camada de interface

Trata-se da camada que torna acessíveis os serviços da camada abaixo. Através da configuração adequada de servidores de balanceamento de carga e alta disponibilidade torna-se possível dividir o processamento dos pedidos dos clientes pelas diversas máquinas em funcionamento na camada de serviços, facilitando a tarefa de alterar a quantidade dessas máquinas de acordo com a quantidade de

clientes ativos.

4.2.1.3 Camada de serviço

Esta camada é responsável pelo funcionamento lógico do sistema, controlo de permissões e disponibilização de funcionalidades aos clientes. No bloco inferior estão concentradas as funcionalidades que permitem o acesso a dados mediante a apresentação de credenciais de utilizador válidas. Este bloco é acedido em cada pedido no sentido de garantir que cada utilizador tem acesso apenas aos dados que foram partilhados com ele. No bloco correspondente à lógica aplicacional encontra-se o modelo de funcionamento global do sistema. Tornando este bloco transversal permite que a API de serviços e o gestor de conteúdos partilhem este recurso, servindo os pedidos de forma semelhante e sem redundância de funcionalidades. Nas camadas superiores – gestor de conteúdos e API de serviços – são criadas as interfaces que permitem a recolha e disponibilização de dados aos clientes, humanos ou máquinas. Uma vez que é nesta camada que mais vezes se encontra o ponto mais frágil de uma sistema deste tipo (pelas necessidades de processamento e memória), esta camada não tem quaisquer dados de forma a ser facilmente clonada e, assim, aumentar muito rapidamente a capacidade de resposta disponível.

4.2.1.4 Camada de dados

Nesta camada encontram-se os dados recolhidos pelo sistema, quer seja em bases de dados ou em sistema de ficheiros. A utilização de sistemas de ficheiros em rede e a introdução de servidores e bases de dados *slave* fará reduzir drasticamente a possibilidade de vir a acontecer nesta camada um ponto de estrangulamento do sistema ao mesmo tempo que garante a replicação e escalabilidade da disponibilidade de dados.

4.2.2 Opções tecnológicas

Ao longo de todo o processo foram tidas em atenção algumas opções tecnológicas no sentido de escolher as melhores ferramentas disponíveis, salvaguardando sempre a possibilidade de escalabilidade futura:

- **ferramentas de código aberto:** opção que salvaguarda a possibilidade de utilizar, partilhar e colaborar com pessoas de diversas comunidades científicas e tecnológicas sem barreiras de comunicação. Sendo uma realidade desde sempre, é cada vez maior a perceção de todos relativamente à capacidade de resposta rápida deste tipo de comunidades. A opção de utilizar como base de trabalho plataformas de código aberto amplamente testadas e com contributos significativos de centenas de pessoas ao nível da segurança e estabilidade foi, assim, encarada como uma mais-valia fundamental para poder apresentar uma plataforma funcional e utilizável para além do conceito.

- **independência da plataforma:** dado o crescente número de plataformas tecnológicas em utilização (*smartphones, tablets, net-tops*, computadores, *prototyping platforms*, etc.) bem como dos sistemas operativos (*nix, Windows *, iOS, Android, Chrome OS, Boot to Gecko, etc.) ou mesmo plataformas sem sistema operativo (Arduino), o desafio de criar uma única ferramenta comum apresenta-se como impossível. Criar uma ferramenta específica limitaria desde logo a possibilidade de abrangência desta solução. Assim, a par da independência da plataforma e como meio para ultrapassar possíveis limitações tecnológicas de cada uma delas, utilizaram-se os seguintes paradigmas:
 - utilização em ambiente web: possibilita desde logo que qualquer dispositivo com acesso à Internet possa passar a dispor de toda a capacidade de processamento da infraestrutura de servidores onde está instalado o sistema. Permite também criar mecanismos de elevada disponibilidade (*high availability*) e backup através de mecanismos como *failover*, *mirroring*, redundância ou balanceamento de cargas (*load balancing*). Estes mecanismos em ambiente de servidor apresentam também a vantagem de escalabilidade total ou apenas em partes críticas do sistema (bases de dados, processamento, informação geográfica, etc.). Desta forma é possível adequar os servidores à necessidade dos clientes ou ocasiões.
 - **possibilidade de criação de clientes específicos:** havendo uma tão grande diversidade de potenciais clientes, faz sentido que alguns deles possam ter papéis mais específicos a desempenhar, com ou sem a intervenção humana. Neste sentido, mais do que criar uma interface web, é dada a capacidade de criação de API que podem ser chamadas pelos variados clientes. Assim sendo, é possível criar clientes com funcionalidades específicas, completamente orientados para o dispositivo e finalidade para a qual estão a ser desenvolvidos.
 - **utilização de standards abertos:** com base no apresentado anteriormente e para salvaguardar a capacidade de interoperabilidade com as interfaces, humanas ou programáticas, foi dada total prioridade à utilização de standards abertos em todo o sistema.

4.2.3 Plataformas de suporte

Tendo em atenção as opções tecnológicas apontadas e tendo em conta as diversas soluções disponíveis, apresentam-se seguidamente as plataformas que foram utilizadas na implementação do sistema.

- **sistema operativo**
 - **ubuntu server:** trata-se de um sistema operativo bastante estável, leve e de elevado

rendimento. O ubuntu server é gratuito e quase completamente de código aberto. Este sistema operativo apresenta dois *release cycles*: um mais curto, semestral, que permite acompanhar os últimos desenvolvimentos tecnológicos e um mais alargado, bienal, denominado *Long Term Support (LTS)*, que permite usufruir de uma maior estabilidade no sistema, havendo apenas atualizações regulares relativas a segurança ou resultantes de integração de componentes comprovadamente estáveis. Na versão *LTS* o suporte é garantido por um período de 5 anos.

- **load balancing proxy server**

- **HAProxy**: é um servidor *proxy* para pedidos em HTTP e TCP. Trata-se de um servidor de elevada disponibilidade (*High Availability*) e com implementação de vários mecanismos de balanceamento de carga (*load balancing*). Este é um servidor *proxy* de código aberto utilizado nos *front-ends* de muitos dos sites de maior tráfego devido à elevada estabilidade, segurança e rapidez. Num teste de 2009 foi possível atender mais de 100.000 pedidos por segundo numa única máquina [HAPROXY].

- **servidor web**

- **Apache**: sendo possível a escolha entre qualquer servidor com suporte para PHP, optou-se pelo servidor Apache, utilizado em cerca de 62% dos servidores de Internet [APACHE USAGE]. A elevada possibilidade de configuração deste servidor serviu igualmente como fator diferenciador, nomeadamente ao nível das opções de segurança das comunicações e configurações de acesso.

- **servidor de informação geográfica**

- **MapServer**: é um servidor de informação geográfica de código aberto desenvolvido inicialmente pela Universidade do Minnesota (UMN). A escolha recaiu sobre esse servidor devido à sua pequena marca no sistema (*small footprint*) e também às grandes capacidades relativamente aos formatos de entrada e saída de dados. Em particular, procurava-se um servidor capaz de integração com PostgreSQL + PostGIS e que pudesse disponibilizar os dados através de serviços de Web Map Service (WMS) – serviço de imagens georeferenciadas – e Web Feature Service (WFS) – serviço de elementos de base geométrica.

- **SGBD**

- **MySQL**: para suporte ao CMS é necessária uma base de dados criada sobre o SGBD MySQL. Trata-se de um SGBD de código aberto conhecido sobretudo pela sua elevada velocidade.

- **PostgreSQL + PostGIS:** uma vez que um dos requisitos fundamentais do sistema é a capacidade de armazenamento e tratamento de dados de informação geográfica foi necessário criar uma base de dados habilitada espacialmente. Embora fosse possível implementar algumas funções em MySQL, a extensão espacial desse SGBD é bastante limitada e não existe interoperabilidade entre os servidores de informação geográfica disponíveis – ou bibliotecas – e o MySQL. Desta forma optou-se pela utilização de PostgreSQL com a extensão espacial PostGIS. Este conjunto apresenta-se como o *standard de facto* para a informação geográfica.
- **CMS**
 - **Joomla!** o *Joomla!* é disponibilizado sob uma licença de código aberto e é desenvolvido em PHP. Trata-se de uma linguagem de *scripting* orientada a objetos e com uma licença de software livre. Atualmente esta linguagem é utilizada em cerca de 37% dos *top sites* (*sites* mais visitados / mais conhecidos) da Internet. [PHP USAGE]. *Joomla!* é um sistema de gestão de conteúdos (*Content Management System – CMS*) de larga utilização e que permite uma expansão de funcionalidades através da criação de extensões (plugins, módulos e componentes).

4.2.4 Visão geral

Apresenta-se seguidamente um esquema geral do sistema com todas as possibilidades de interação entre os diferentes blocos constituintes e que se encontra ilustrado na Figura 4.9. Apresentam-se igualmente no esquema alguns elementos que não estão caracterizados anteriormente mas que ilustram as capacidades de interação entre o sistema e alguns *software* de uso comum e que permitem de forma rápida estender as capacidades do sistema proposto com as funcionalidades de cada um dos respetivos *software*, nomeadamente:

- **QuantumGIS/GRASS:** trata-se de sistemas de informação geográfica de código aberto para utilização *desktop*. Permitem efetuar as mais variadas análises SIG entre camadas vetoriais ou *raster* e podem interligar-se ao sistema proposto através de uma ligação pelo PostGIS, diretamente à base de dados, ou através do MapServer com os serviços WMS e WFS disponibilizados.
- **pgAdmin:** cliente gráfico para o SGBD PostgreSQL, permite uma maior interação com a base de dados.
- **LibreOffice:** é um conjunto de programas de produtividade que permite, nomeadamente através da aplicação de folha de cálculo Calc, a análise dos dados presentes na base de dados de forma mais habitual para utilizadores sem grandes conhecimentos de bases de dados.

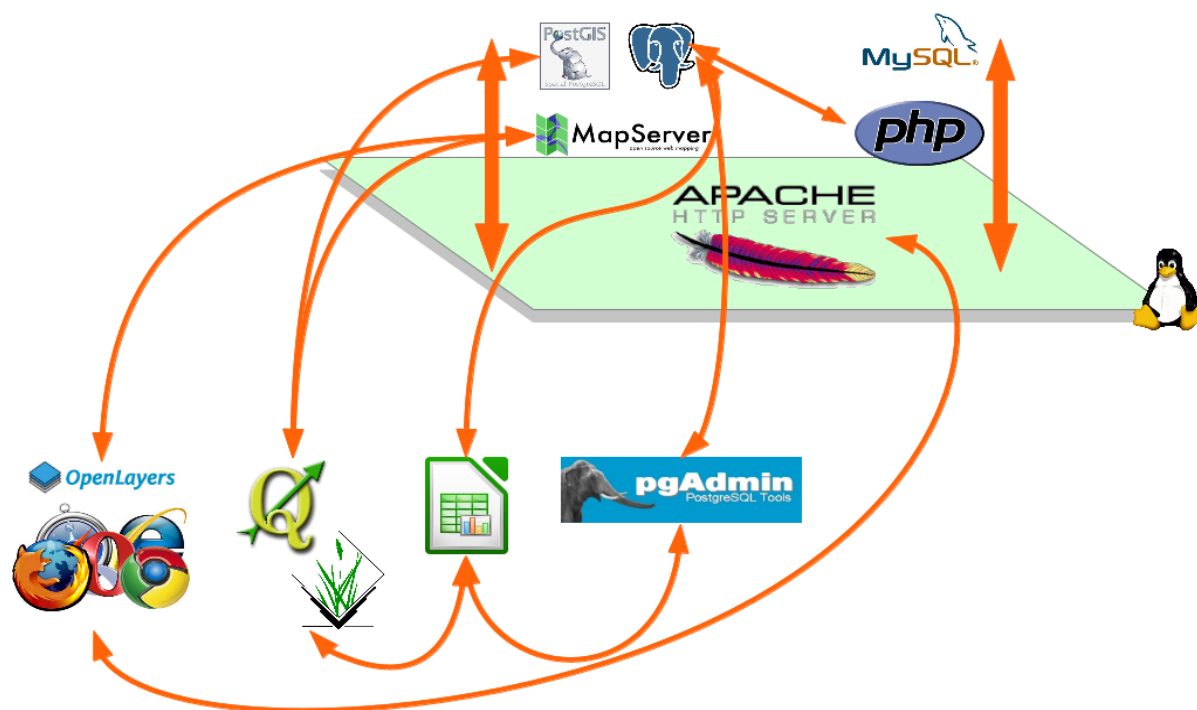


Figura 4.9: Esquema ilustrativo global sistema

Capítulo 5 Validação

Nesta secção apresenta-se o processo que permite indicar a solução proposta como capaz de responder aos requisitos identificados ao longo deste documento.

Trata-se de um processo que passa pelo desenvolvimento de um protótipo funcional e disponibilização de uma versão de teste a um grupo restrito de utilizadores. Numa fase final menciona-se a integração num sistema de gestão energética municipal mais abrangente e de larga escala em atual fase de disponibilização pela IrRADIARE, Science for evolution® a um conjunto significativo de municípios portugueses.

Dada a estabilidade das opções tecnológicas utilizadas garantida pelo vasto grupo de utilizadores, já que foi também um fator de influência na escolha das mesmas, a fase de validação focou-se principalmente em dois aspetos: a interligação entre diferentes componentes e a capacidade de responder aos requisitos apresentados. Foram utilizados para esta validação o desenvolvimento de um protótipo e a disponibilização do protótipo a um grupo restrito de utilizadores, respetivamente.

Numa fase posterior foi ainda possível atestar a escalabilidade do conceito proposto através da integração num sistema de gestão energética municipal desenvolvido através da expansão das funcionalidades do sistema de gestão de iluminação pública.

5.1 Desenvolvimento do protótipo

Dando seguimento à fase de levantamento de requisitos e como forma de validar as várias opções tecnológicas disponíveis, foi implementado um protótipo funcional que permitiu garantir a possibilidade de interligação entre todos os componentes necessários à criação do sistema.

Este protótipo permitiu assegurar que as opções tecnológicas identificadas eram adequadas e, mais, permitiu ainda verificar a possibilidade da sua utilização conjunta.

Como forma de isolar modularmente a verificação do sistema foi utilizado um modelo de desenvolvimento *Model-View-Controller*, ou MVC. O modelo MVC permite isolar a lógica de funcionamento do sistema da sua estrutura de dados e da sua interface.

Durante este desenvolvimento verificou-se que a interligação dos vários componentes se apresentava completamente funcional, nomeadamente ao nível da interligação da *framework Joomla!* com os dois SGBD distintos através da linguagem PHP, sendo que esta *framework* apenas tem suporte para o SGBD MySQL. Visto que tal interligação era possível, como referido, foi implementada uma biblioteca

a integrar no protótipo de forma a que a interação com o SGBD PostgreSQL fosse feita de forma semelhante à utilizada pela *framework* para ligação ao SGBD MySQL.

Usando o mesmo conceito de biblioteca e modularidade foram criadas classes que permitiram particionar a interação e análise individual de cada uma das componentes do sistema de iluminação pública.

Ao longo de todo o processo de desenvolvimento foram efetuados testes às funções e classes implementadas de forma a garantir a sua funcionalidade, sendo que a obtenção de um protótipo completamente funcional permitiu atestar a validade da implementação efetuada.

5.2 Fase de utilização restrita

Na fase de utilização restrita pretendeu-se atestar a funcionalidade e estabilidade da solução proposta. Desta forma, após a criação do protótipo funcional, foi possível obter a colaboração da equipa da Médiotejo21 - Agência Regional de Energia e Ambiente do Médio Tejo e Pinhal Interior Sul – de forma a que a solução pudesse ser testada em ambiente próximo da utilização real.

A Médiotejo21 é uma agência de energia e ambiente com 15 municípios associados, representando cerca de 270 mil habitantes pertencentes às Comunidades Intermunicipais do Médio Tejo e Pinhal Interior Sul. Na Figura 5.1 está ilustrada a área de influência desta agência enquadrada no território nacional.

Esta agência apoia os seus municípios associados em projetos relacionados com o seu âmbito de atuação, tendo estado envolvida nos últimos dois anos na elaboração de planos municipais de melhoria da eficiência na iluminação pública. Neste contexto foram realizadas 446 visitas representando 191 km de arruamentos e resultando no levantamento e caracterização de 12 mil luminárias.

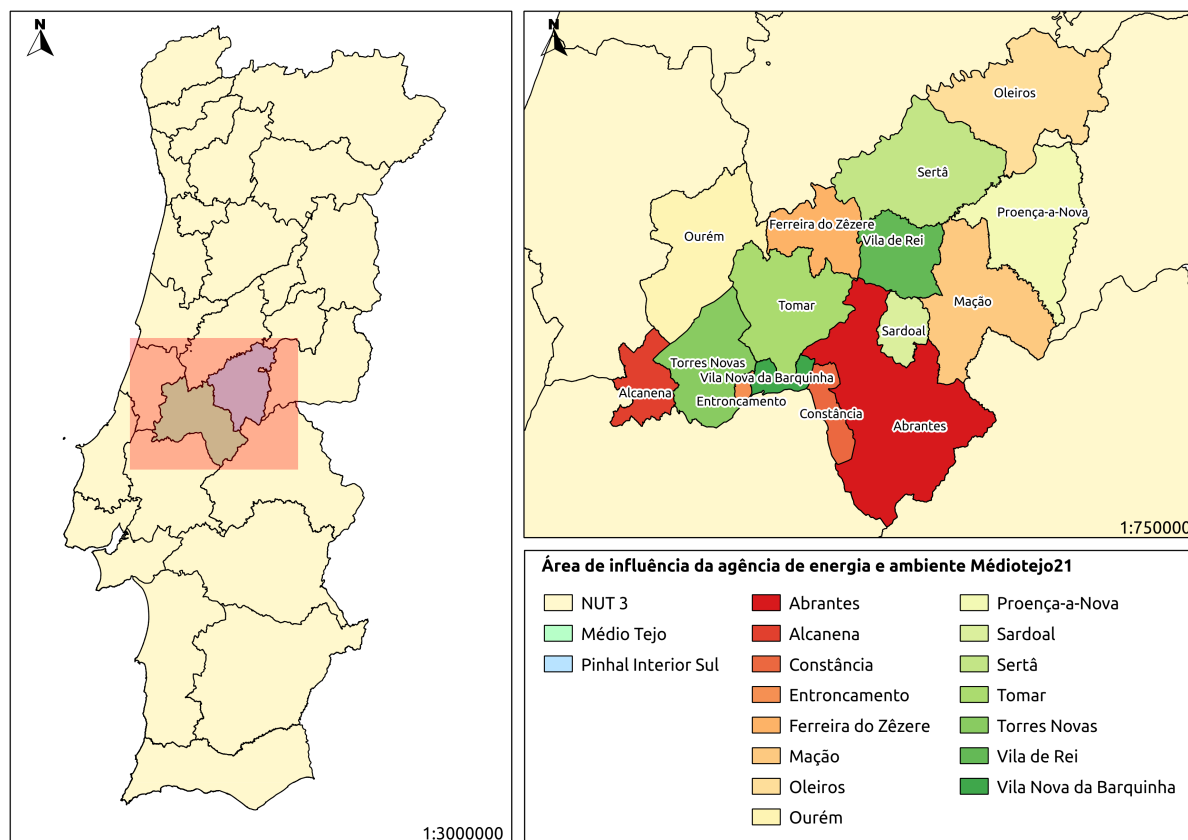


Figura 5.1: Área de influência da agência de energia e ambiente Médiotejo21

5.2.1 Metodologia de validação

Pretendeu-se verificar em que medida o protótipo criado respondia às necessidades de uma equipa técnica com experiência em levantamento e utilização de dados relativos à iluminação pública bem com as condições de usabilidade que apresentava aos utilizadores.

Desta forma, foram criados utilizadores para a equipa de testes e foi-lhes apresentado o endereço da plataforma que poderiam utilizar. O objetivo era a realização de um *blind test* pelo que não foi dada nenhuma indicação relativamente ao funcionamento do sistema. Foi solicitado que fossem introduzidos dados de terreno obtidos num levantamento anterior de forma a que o teste fosse o mais próximo possível da utilização real.

Apesar de o sistema armazenar informação relativa aos tipos e modelos de componentes existentes nas redes de iluminação pública, neste teste essa informação era muito pouca pelo que houve também a possibilidade de ser testada a inclusão e utilização de nova informação relativa ao catálogo de modelos disponível no sistema.

Durante a fase de disponibilização à equipa da Médiotejo21 o protótipo desenvolvido mostrou-se eficaz e adequado no suporte da informação relevante bem como da usabilidade. Foram apenas

detetados alguns *bugs* pontuais cuja resolução foi simples e sem implicações ao nível da lógica do sistema.

Como consequência da fase de testes a solução proposta nesta dissertação foi avaliada como sendo uma mais valia para o processo de recolha e gestão de dados de iluminação pública. As capacidades de expansão do sistema apresentado no sentido de proporcionar relatórios de análise de vários parâmetros de forma personalizada foram igualmente apreciadas pela equipa.

5.3 Integração num sistema de gestão energética municipal

Como consequência da boa aceitação da solução apresentada e no âmbito da colaboração com a IrRADIARE, Science for evolution®, foi possível integrar o desenvolvimento de um sistema de gestão energética municipal que representa a expansão dos conceitos empregues na gestão da iluminação pública a outras áreas da gestão energética municipal. Neste sentido foram integradas áreas como a gestão de edifícios públicos, sistemas de abastecimento e tratamento de águas, sistemas de recolha e tratamento de resíduos, frotas municipais e outros consumidores de energia.

Este sistema de gestão energética municipal está atualmente em fase de pré-disponibilização a um conjunto de 29 municípios portugueses, incluindo os da área de influência da Médiotejo²¹. Nessa altura passará a estar disponível numa região que compreende cerca de 1.200.000 pessoas, correspondendo a 12% da população nacional.

Durante o período de execução desta dissertação foi ainda possível incluir a caracterização deste sistema num documento apresentado publicamente no dia 19 de Junho de 2012, em Vila Nova da Barquinha, durante o evento “Workshop Técnico Schröder– Eficiência energética na Iluminação Pública, Tecnologia Led”.

Capítulo 6 Conclusões e desenvolvimentos futuros

A eficiência energética é – mais do que nunca – uma prioridade. Este facto deve-se, fundamentalmente, a questões relacionadas com a despesa que o consumo de energia representa, devido ao aumento quer do consumo quer do preço da energia, com as emissões de gases com efeito de estufa (GEE) associadas ou com a crescente disponibilidade de equipamentos cada vez mais eficientes.

É no âmbito deste objetivo que têm surgido diversos programas e ações de incentivo à melhoria da eficiência energética levadas a cabo pelas diversas entidades envolvidas na gestão energética.

Neste contexto, o acompanhamento da preparação e execução de ações de levantamento e caracterização de larga escala em sistemas de iluminação pública expôs as dificuldades sentidas pelos atores envolvidos. De igual forma, foi possível identificar resultados esperados e preocupações ao nível da tipologia dos dados a recolher e analisar.

Como referido, o assunto abordado teve origem na identificação de lacunas graves na informação disponível acerca da iluminação pública em Portugal. Trata-se não só da falta de informação como também de meios eficazes de armazenar, atualizar e analisar os dados disponíveis. Neste contexto o défice de dados é transversal aos municípios, na medida em que não dispõem de informação relativa à caracterização luminotécnica, caracterização eletrotécnica, localização, dados de consumo elétrico, dados de faturação, histórico de intervenções, etc., sem passar por um moroso e dispendioso processo de levantamento de dados no terreno, aliado à inserção manual de extensas listas de dados de consumo e faturação, com toda a permeabilidade ao erro presente neste tipo de processos. Mesmo recorrendo a este tipo de intervenção foram identificados alguns problemas como análise de dados de forma a planear as ações de aumento de eficiência energética, permitindo prever custos e resultados, e atualização dos dados, de forma a evitar intervenções de levantamento de dados semelhantes no futuro.

Por sua vez, as tecnologias de informação continuam em constante expansão, com o regular aparecimento de equipamentos mais pequenos e novas plataformas móveis que permitem contextualizar a informação colocada à disposição do utilizador através da sua localização. Esta mobilidade tecnológica, aliada ao acesso quase universal à Internet, passa a permitir a utilização de sistemas de gestão centralizados, com capacidades de análise elevadas e disponibilizados de imediato e em simultâneo a todo o universo de utilizadores, independentemente da plataforma utilizada.

Ainda neste campo, as tecnologias SIG têm dado passos fortes na sua deslocação dos ambientes *desktop* para o acesso *web*. A informação passou a ter fortemente presente a dimensão geográfica e

os mapas passaram a ser ferramentas familiares para os utilizadores. Em alguns casos o mapa passou mesmo a ser o suporte ou a base onde a informação é disponibilizada.

A presente dissertação pretendeu assim agregar estas três áreas aparentemente distintas – eficiência energética, sistemas de informação e SIG – no sentido de criar uma solução tecnológica integrada e, dessa forma, proporcionar ferramentas de valor acrescentado a todos os atores envolvidos na gestão da iluminação pública e preencher as lacunas identificadas anteriormente como entraves a uma maior eficiência destes sistemas. Integrando estas 3 áreas, pretendeu-se criar a possibilidade de analisar a problemática da melhoria da eficiência energética sob um conjunto de novos pontos de vista como sendo o cruzamento geográfico com outras camadas de informação, a análise da abrangência geográfica, as análises de fatura baseadas na importação de documentos eletrónicos como meio de facilitação de processo e diminuição de erros ou a disponibilização de dados atualizados em tempo real para os diversos componentes das redes de iluminação pública através da utilização de dispositivos móveis e códigos de resposta rápida.

Procedeu-se assim à pesquisa das melhores práticas na área da implementação de projetos de aumento de eficiência energética. Durante esta pesquisa, em que foram analisados 25 projetos em 11 países, identificaram-se várias soluções utilizadas para o efeito como a substituição de tecnologias ou a implementação de sistemas de controlo da iluminação pública. Essas soluções não se apresentavam, no entanto, capazes de colmatar as necessidades dos municípios identificadas, no sentido em que eram implementadas sem um estudo prévio das necessidades de iluminação em comparação com as instalações existentes. Os projetos estudados partem do conhecimento prévio da existência de uma tecnologia, optando pela sua substituição por outra mais eficiente. Embora eficaz enquanto medida de aumento de eficiência, esta medida não assegura eficácia financeira nem otimização da iluminação ou adequabilidade ao local.

Ainda durante a fase de pesquisa foram encetados contactos no sentido de averiguar a integração de sistemas de informação geográfica na gestão da iluminação pública. Embora as respostas tenham sido em número insuficiente para se poderem considerar como uma amostra, houve a indicação de que não estava a ser considerada a geo-referenciação dos sistemas de iluminação pública. Neste sentido não foi possível identificar sistemas de gestão de iluminação pública com a integração desta dimensão. Igualmente, não foi possível identificar sistemas com capacidade para a integração de informação relativa aos dados de faturação.

Procedeu-se ainda a uma pesquisa das melhores soluções tecnológicas em cada uma das 3 áreas atrás identificadas de forma a desenhar-se a arquitetura de um sistema capaz de responder às necessidades assinaladas, nomeadamente a localização e caracterização da rede de IP existente. Deveria ser capaz de integrar, entre outras funcionalidades, uma caracterização detalhada (eletrotécnica, luminotécnica, geográfica, etc) dos vários componentes dos sistemas de iluminação pública, os seus dados de faturação e produzir relatórios de análise dos diversos parâmetros.

O desenho da arquitetura do sistema foi executado detalhando interação entre os diversos componentes e estrutura da base de dados de suporte.

Na fase de desenvolvimento posterior houve ainda a possibilidade de implementar um protótipo para ser colocado à disposição e teste por parte da agência regional de energia e ambiente Médiotejo²¹, envolvida em vários projetos no âmbito da melhoria da eficiência energética em sistemas de iluminação pública, entre outros, e com alguns anos de experiência no levantamento e tratamento de dados relativos a este tema.

Neste protótipo foram desenvolvidas funcionalidades de integração de tecnologias no sentido de proporcionar um suporte capaz para as tipologias de informação identificadas acima. Igualmente, foram desenvolvidos conceitos como entidades e objetos, cuja função neste sistema é a de assegurar a expansão e escalabilidade para um maior nível de detalhe do sistema ou a outras áreas de gestão energética cujas necessidades de recolha e análise de dados tenham requisitos semelhantes aos da informação relativa à iluminação pública.

Tendo sido disponibilizado à equipa de uma agência de energia e ambiente o protótipo foi capaz de suportar as funcionalidades a que se propunha, validando-se assim a sua adequabilidade e implementação.

Como resultado dos testes efetuados e dos seus resultados positivos foi já desenvolvido, no âmbito da colaboração com a IrRADIARE, Science for evolution®, um sistema de gestão energética municipal que engloba o sistema de gestão de iluminação pública descrito ao longo deste documento, demonstrando assim a capacidade de escalar o conceito.

No seguimento destes desenvolvimentos, foi também efetuada uma apresentação pública do sistema de gestão energética municipal num workshop dedicado à eficiência energética em iluminação pública, tendo sido apresentado como a solução para as necessidades dos municípios.

Desta forma, pode afirmar-se que o presente trabalho responde às questões apresentadas inicialmente no sentido em que:

- disponibiliza uma ferramenta de suporte à caracterização da iluminação pública, incluindo a sua localização geográfica e caracterização eletrotécnica e luminotécnica;
- permite anexar um largo conjunto de informação aos diversos equipamentos e componentes da rede de IP, nomeadamente documentação técnica e históricos de manutenção;
- sendo centralizado e com um eficaz controlo de acessos permite a interação de diversos atores envolvidos na gestão da rede de IP em tempo real;
- permite anexar perfis de consumo e dados de faturação referentes aos diversos equipamentos e componentes, permitindo a dupla validação.

Entende-se também que, dado o sucesso do resultado obtido, este trabalho contribui positivamente no sentido de promover a integração futura de diferentes tecnologias e áreas científicas, através do estabelecimento de um formato orientador à interação entre elas, e obter dessa integração novas luzes sobre problemáticas existentes.

Decorrentes da fase de testes e do levantamento de requisitos e implementação foi ainda possível identificar algumas áreas para as quais poderiam ser desenvolvidas extensões ao sistema atualmente existente. Estas extensões permitiriam a disponibilização de uma maior quantidade de informação e conhecimento tendo como base os dados já existentes ou com a integração de novos conjuntos de dados.

Neste sentido identificaram-se as seguintes funcionalidades como sendo candidatas ao desenvolvimento e integração futuros:

- **Interação com o sistema de faturação do fornecedor de energia elétrica:** atualmente apenas é possível obter a informação das faturas através da intervenção humana, sendo necessária a autenticação na plataforma do fornecedor de energia elétrica e posterior *download* dos dados das faturas referentes aos diversos sistemas de iluminação pública, em formato PDF ou, mais recentemente, ficheiros EDI (XML). Sendo os ficheiros EDI um avanço significativo em relação ao PDF, é ainda necessária uma intervenção morosa de um utilizador no sentido de copiar manualmente os dados para um qualquer suporte de cálculo, processo este que se julga desnecessário e passível de erro. Assim, deveria ser possível interceder junto da entidade competente no sentido de disponibilizar API para a recolha automática da informação de faturação e de qualquer outra informação que tenha no seu sistema e que seja propriedade do cliente (como consumos, dados do contrato, etc.). Igualmente, deveriam fazer-se diligências junto dessa entidade no sentido de corrigir os ficheiros XML que utiliza de forma a serem construídos de acordo com as especificações da linguagem e de disponibilizar documentação relativa aos mesmos, como esquemas e documentos de validação.
- **Disponibilização de interfaces desenhadas especificamente para as plataformas móveis e para diferentes atores, no sentido de incentivar e facilitar a interação com o sistema:** os cidadãos deveriam conseguir identificar um problema no sistema de iluminação pública com a mínima necessidade de interação ou conhecimentos. Por exemplo, utilizando um *smartphone* ou um *tablet* deveria ser possível a qualquer cidadão identificar uma zona onde a iluminação pública está acesa durante o dia (fazendo uso das capacidades de GPS destes dispositivos e dos respetivos *browsers*) ou utilizando o *QR Code* de um poste deveria ser possível identificá-lo como tendo um problema, seja uma lâmpada fundida, sujidade, obstrução ou destruição. Da mesma forma os técnicos responsáveis pela gestão da iluminação pública deveriam conseguir identificar por zonas os postes com problemas, filtrando por proximidade, tipo de problema ou circuito de suporte permitindo assim uma

manutenção mais eficaz do sistema de iluminação pública. Outras funcionalidades dirigidas aos dispositivos móveis surgirão com certeza da utilização continuada do sistema proposto por diferentes intervenientes.

- **Maior capacidade de análise:** Sendo o sistema desenvolvido já capaz de um conjunto alargado de análises e da produção automática dos respetivos relatórios, o sistema de gestão poderia ainda estender o seu espectro das análises e relatórios. Neste campo englobar-se-iam análises automáticas da adequabilidade luminotécnica, identificação de discrepâncias relativamente à tipologia de lâmpadas utilizadas em ambientes e localizações semelhantes, identificação de discrepâncias resultantes do cruzamento de dados relativos a potências instaladas e horas de funcionamento com os dados relativos à energia consumida. Poderia ainda estender-se o sistema de modo a que pudesse permitir ao utilizador criar novas tabelas e gráficos adicionais de cruzamento de dados, escolhendo para o efeito as dimensões a cruzar.

Naturalmente que esta listagem não é – nem pretende ser – exaustiva e definitiva. Os sistemas deste tipo são naturalmente evolutivos, tendo uma forte componente de integração de diversas áreas tecnológicas, como é o caso apresentado. Desta forma, entende-se que a proposta apresentada ao longo deste documento estabelece uma premissa importante no desenvolvimento e evolução dos sistemas de gestão energética.

Capítulo 7 Bibliografia

[PORDATA, 2012] Base de dados de Portugal Contemporâneo. Fonte de dados: DGEG/MEID. [Consultado em Fevereiro de 2012] Disponível em <http://www.pordata.pt>

[INE, 2012] Instituto Nacional de Estatística. [Consultado em Fevereiro de 2012] Disponível em <http://www.ine.pt>

[ERSE, 2012] Entidade Reguladora para o Setor Energético. [Consultado em Fevereiro de 2012] Disponível em <http://www.erse.pt>

[DGEG, 2012] Direção Geral de Energia e Geologia. [Consultado em Fevereiro de 2012] Disponível em <http://www.dgeg.pt>

[CAOP, 2012] *Carta Administrativa Oficial de Portugal, versão 2012.0*. Instituto Geográfico Português. [Consultado em Fevereiro de 2012] Disponível em <http://www.igeo.pt/produtos/cadastro/caop/inicial.htm>

[IDA] International Dark Sky Association [Consultado em Junho de 2012]. Disponível em <http://www.darksky.org/>

[DL 344-B/82] Decreto-lei n.º 344-B/82 de 01 de Setembro de 1982. [Consultado em Fevereiro de 2012]. Disponível em <http://siddamb.apambiente.pt/publico/diff/difftest.aspx?documento=3335&versao=2&versaoAnt=1>

[ADENE, 2011] *Documento de Referência para a Eficiência Energética na Iluminação Pública*. ADENE – Agência para a Energia, Janeiro de 2011.

[MIP, 2010] *Manual de Iluminação Pública, Volumes 1, 2 e 3*. EDP Distribuição, ISR – UC, 2010.

[EECI-ESMAP-Akola, 2009] *GOOD PRACTICES IN CITY ENERGY EFFICIENCY: Akola Municipal Corporation, India – Performance Contracting for Street Lighting Energy Efficiency*, Energy Efficient Cities Initiative - Energy Sector Management Assistance Program, 2009.

[NIASSEMBLY, 2009] *ENERGY EFFICIENCY IN STREET LIGHTING - Research Paper*, Research and Library Services - Northern Ireland Assembly, 2009.

[EU-GreenLight, 2011] *The European GreenLight Programme Efficient Lighting Project Implementation Catalogue 2005-2009* - Institute for Energy, Joint Research Centre, European Commission, 2011.

[EU-GreenLight, Hostetin] *GreenLight Project Case Study for Hostetin Municipality* [Consultado em Março de 2012]. Disponível em <http://www.eu-greenlight.org>

[ILUMape] *Memória descritiva do projeto – AREANATEjo* [Consultado em Março de 2012]. Disponível em <http://www.areanatejo.pt>

[ILUPub] *Dossier de imprensa AREANATEjo* [Consultado em Março de 2012]. Disponível em <http://www.areanatejo.pt>

[ENERGY-CITIES] *Efficient public lighting – Energy cities* [Consultado em Março de 2012]. Disponível em <http://www.energy-cities.eu>

[ENEA-Kempton] *Guideline for Saving Contracting in Street lighting* - Berliner Energieagentur GmbH, 2007. Consultado em Março de 2012]. Disponível em <http://www.enea.it>

[PHP USAGE] *Framework Distribution in Top Million Sites – Framework usage statistics*. [Consultado em Julho de 2012]. Disponível em <http://trends.builtwith.com/framework>

[HAPROXY]: *HAProxy: The Reliable, High Performance TCP/HTTP Load Balancer*. [Consultado em

Julho de 2012] Disponível em <http://haproxy.1wt.eu/>

[APACHE USAGE] *July 2012 Web Server Survey* – Netcraft [Consultado em Julho de 2012]. Disponível em <http://news.netcraft.com/archives/category/web-server-survey/>

[LED-BRANCO] *LED branco* – Wikipédia [Consultado em Julho de 2012] Disponível em http://pt.wikipedia.org/wiki/LED_branco

[EN 13201] *Norma Europeia EN 13201: Road Lighting* - EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION .